

**IDENTIFIKASI RESISTENSI BEBERAPA GULMA DI PERKEBUNAN NANAS
LAMPUNG TENGAH DAN KELAPA SAWIT LAMPUNG SELATAN TERHADAP
HERBISIDA DIURON DAN GLIFOSAT**

(Tesis)

Oleh

RESTI PUSPA KARTIKA SARI



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2019**

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF SEVERAL WEEDS RESISTANT IN PINEAPPLE PLANTATION IN CENTRAL LAMPUNG AND OIL PALM PLANTATION IN SOUTH LAMPUNG TO DIURON AND GLYPHOSATE HERBICIDES

By

RESTI PUSPA KARTIKA SARI

Dactyloctenium aegyptium, *Eleusine indica*, and *Praxelis clematidea* weeds are dominant weeds that are difficult to control in pineapple plantation in Central Lampung, while in oil palm plantation in South Lampung, *Asystasia gangetica* and *Eleusine indica* are dominant weeds that are difficult to control. The main weed control method in the pineapple plantation is chemical control using herbicides, one of which is diuron, meanwhile in oil palm plantation used glyphosate herbicide. However, the use of herbicides that have the same mechanism of action intensively over a long period of time can accelerate the emergence of resistant weeds. Resistant weeds can't be controlled with herbicides at recommended dosages. The study was conducted at the green house of Al-Madani University, Pramuka, Rajabasa District, Weed Science Laboratory of Agriculture Faculty, and the Center for Innovation and Technology Laboratory at the University of Lampung, from September 2018 to March 2019. The study consisted of two stages, Stage 1: Weed Resistance Test and Stage 2: Physiological

Activity Test on Resistant Weeds. The study used a Split Plot design with 6 replications in Stage 1 and 3 replications in Stage 2. The first factor was the origin of weeds: herbicide-exposed weeds and non-exposed weeds. The second factor is the dose of diuron 0; 600; 1,200; 2,400; 4,800; 9,600 g ha⁻¹ and the dose of glyphosate: 0; 480; 960; 1,920; 3,840; and 7,680 g ha⁻¹. In Stage 1, observations were made on the percent of damage and weed dry weight. Data were analyzed with probit analysis to determine LT₅₀ (Lethal Time 50%), ED₅₀ (Effective dose 50%), and RR (Resistance Ratio). In Stage 2 physiological activities were analyzed which include the rate of carbon assimilation, stomatal conductance, and the rate of transpiration. The results showed that: (1) Weed exposed to diuron needed a longer time to be damaged with LT₅₀ values at doses 4.800 g ha⁻¹: 44,53; 17,70; and 5.93 days for *D. aegyptium*, *E. indica*, and *P. clematidea*, respectively, while unexposed weeds were 4,70; 9,64; 5,25 days respectively; (2) Weed exposed to glyphosate needed a longer time to be damaged with LT₅₀ values at doses 1.920 g ha⁻¹: 14,85 and 29,98 days for *A. gangetica* and *E. indica*, respectively, of *A. gangetica* and *E. indica* exposed to glyphosate were 14,85 and 29,98 days respectively, while unexposed weeds were 8,54 and 6,42 days respectively ; (3) RR value of *D. aegyptium* exposed to diuron was 16,70 and classified as high resistance, while RR of *E. indica* and *P. clematidea* were 1,46 and 1,74 respectively, which indicates the absence of resistance; (4) RR values of *A. gangetica* and *E. indica* exposed to glyphosate were 2,87 and 2,32 and classified as having low resistance (5) The physiological activity (carbon assimilation, stomatal conductance, and transpiration) of *D. aegyptium* which has a high resistance to diuron is higher than that of sensitive *D. aegyptium*; (6) The

physiological activities of *A. gangetica* and *E. indica* which experience low resistance to glyphosate in general are not different from those of unexposed (sensitive) *A. gangetica* and *E. indica*.

Keywords: *diuron, glyphosate, herbicide, weeds, resistance, physiological activities*

ABSTRAK

IDENTIFIKASI RESISTENSI BEBERAPA GULMA DI PERKEBUNAN NANAS LAMPUNG TENGAH DAN KELAPA SAWIT LAMPUNG SELATAN TERHADAP HERBISIDA DIURON DAN GLIFOSAT

Oleh

RESTI PUSPA KARTIKA SARI

Gulma *Dactyloctenium aegyptium*, *Eleusine indica*, dan *Praxelis clematidea* merupakan gulma yang tumbuh cukup dominan dan sulit dikendalikan di perkebunan nanas Lampung Tengah, sedangkan di perkebunan kelapa sawit Lampung Selatan gulma yang dominan dan sulit dikendalikan yaitu *Asystasia gangetica* dan *Eleusine indica*. Salah satu pengendalian gulma secara kimiawi yang dilakukan di perkebunan nanas yaitu menggunakan diuron, sedangkan di perkebunan kelapa sawit yaitu menggunakan glifosat. Namun, penggunaan herbisida yang memiliki mekanisme kerja yang sama secara intensif dalam jangka waktu yang lama dapat mendorong memunculnya gulma resisten. Gulma resisten adalah gulma yang tidak dapat dikendalikan dengan herbisida pada dosis rekomendasi. Penelitian dilakukan di rumah kaca Perguruan Tinggi AL Madani, Pramuka, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Laboratorium Gulma Fakultas Pertanian, dan Laboratorium Sentra Inovasi dan Teknologi Universitas Lampung. Penelitian dilaksanakan dari bulan September 2018 hingga Maret 2019. Penelitian terdiri dari dua tahap, yaitu Tahap 1: Uji Resistensi Gulma dan Tahap 2: Uji Aktivitas Fisiologi Pada Gulma Resisten. Penelitian menggunakan

rancangan petak terbagi dengan 6 ulangan pada Tahap 1 dan 3 ulangan pada Tahap 2. Faktor pertama adalah asal gulma yang berasal dari dua lokasi, antara lain: gulma terpapar dan gulma tidak terpapar herbisida. Faktor kedua yaitu dosis herbisida. Dosis herbisida diuron yaitu 0 ; 600; 1.200 ; 2.400 ; 4.800 ; 9.600 g/ha. Dosis herbisida glifosat yaitu 0; 480; 960; 1.920; 3.840; dan 7.680 g/ha. Pada Tahap 1 pengamatan dilakukan terhadap persentase keracunan dan bobot kering gulma. Data hasil pengamatan dianalisis probit untuk mengetahui LT_{50} , ED_{50} (dosis efektif 50%), dan NR (Nisbah Resistensi). Pada Tahap 2 dianalisis aktivitas fisiologi yang meliputi laju asimilasi karbon, konduktansi stomata, dan transpirasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa : (1) Gulma yang terpapar diuron memerlukan waktu yang lebih lama untuk teracuni sebanyak 50% dengan nilai LT_{50} pada dosis 4.800 g/ha gulma *D. aegyptium*, *E. indica*, dan *P. clematidea* berturut-turut 44,53; 17,70; 5,93 hari, sedangkan gulma yang tidak terpapar berturut-turut 4,70; 9,81; 5,25 hari; (2) Gulma yang terpapar glifosat memerlukan waktu yang lebih lama untuk teracuni sebanyak 50% dengan nilai LT_{50} pada dosis 1.920 g/ha gulma *A. gangetica* dan *E. indica* berturut-turut 14,85 dan 29,98 hari, sedangkan gulma yang tidak terpapar berturut-turut 8,54 dan 6,42 hari; (3) Nilai NR gulma *D. aegyptium* terpapar diuron adalah 16,70 dan tergolong resistensi tinggi, sedangkan NR gulma *E. indica*, dan *P.clematidea* masing-masing 1,43; dan 1,74 yang menunjukkan belum adanya resistensi; (4) Nilai NR gulma *A. gangetica* dan *E. indica* terpapar glifosat masing-masing adalah 2,87 dan 2,32 sehingga tergolong resistensi rendah; (5) Aktivitas fisiologi *D. aegyptium* yang mengalami resistensi tinggi terhadap diuron lebih tinggi dibandingkan

D. aegyptium yang sensitif; (6) Aktivitas fisiologi *A. gangetica* dan *E. indica* yang mengalami resistensi rendah terhadap glifosat cenderung tidak berbeda dengan *A. gangetica* dan *E. indica* yang sensitif.

Kata kunci : diuron, glifosat, gulma, herbisida, resistensi, aktivitas fisiologi

**IDENTIFIKASI RESISTENSI BEBERAPA GULMA DI PERKEBUNAN
NANAS LAMPUNG TENGAH DAN KELAPA SAWIT LAMPUNG
SELATAN TERHADAP HERBISIDA DIURON DAN GLIFOSAT**

Oleh

RESTI PUSPA KARTIKA SARI

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER SAINS

Pada

Program Studi Pascasarjana Magister Agronomi
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Tesis : **IDENTIFIKASI RESISTENSI BEBERAPA
GULMA DI PERKEBUNAN NANAS
LAMPUNG TENGAH DAN KELAPA
SAWIT LAMPUNG SELATAN TERHADAP
HERBISIDA DIURON DAN GLIFOSAT**

Nama Mahasiswa : **Resti Puspa Kartika Sari**


Nomor Pokok Mahasiswa : 1724011001

Program Studi : Magister Agronomi

Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Nanik Sriyani, M.Sc.
NIP 196201011986032001



Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc.
NIP 196108031986032002

2. Ketua Program Studi Magister Agronomi

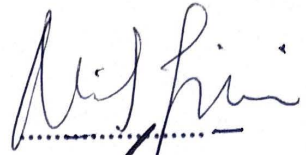


Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc.
NIP 196108031986032002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

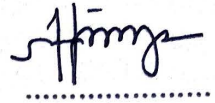
Ketua : Prof. Dr. Ir. Nanik Sriyani, M.Sc.



Sekretaris : Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc.



Penguji I
Bukan Pembimbing : Dr. Hidayat Pujisiswanto, S.P., M.P.



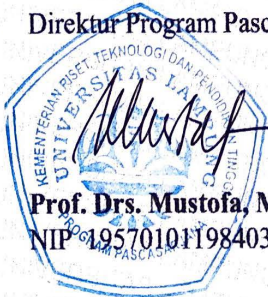
Penguji II
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc.



Dekan Fakultas Pertanian


Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 196110201986031002

3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung




Prof. Drs. Mustofa, MA., Ph.D.
NIP. 195701011984031020

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 02 Agustus 2019

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul “**IDENTIFIKASI RESISTENSI BEBERAPA GULMA DI PERKEBUNAN NANAS LAMPUNG TENGAH DAN KELAPA SAWIT LAMPUNG SELATAN TERHADAP HERBISIDA DIURON DAN GLIFOSAT**” adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atas karya penulisan lain dengan cara tidak sesuai dengan norma etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Pembimbing penulisan tesis ini berhak mempublikasikan sebagian atau seluruh tesis ini pada jurnal ilmiah dengan mencantumkan nama saya sebagai salah satu penulisnya.
3. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbeneran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 02 Agustus 2019
Pembuat pernyataan,



Resti Puspa Kartika Sari
NPM 1724011001

RIWAYAT HIDUP

Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara pasangan Bapak Hi. Hairul Anwar dan Ibu Susanti. Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada 24 Juni 1995. Penulis menyelesaikan sekolah di TK Darma Wanita PTPN VII Waylima pada tahun 2000, TK Bina Budiarti pada tahun 2001, Pendidikan Sekolah Dasar di SDN 5 Talang, Bandar Lampung pada tahun 2007, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 3 Bandar Lampung pada tahun 2010, dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 4 Bandar Lampung pada tahun 2013.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa pada Program Studi Agroteknologi Strata 1 (S1), Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2013 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan lulus pada tahun 2017 sebagai lulusan terbaik kesatu di Fakultas Pertanian. Pada tahun 2017 penulis melanjutkan studi Pascasarjana Magister Agronomi di Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

PERSEMBAHAN

*Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT,
kupersembahkan karya sederhana ini sebagai rasa bakti,
hormat, tanggung jawab, dan terima kasihku kepada:*

Orang Tuaku

Bapak H. Hairul Anwar dan Ibu Susanti

Suamiku

Ahmad Arya Dimantara, S.H.I.

Kakak dan Adikku

Hilda Oktaria, S.Pd. dan Sabrina Nuari Putri

Keluarga besar dan sahabat-sahabatku tercinta

Almamaterku Tercinta

Universitas Lampung

*“Allah SWT will raise those who have believed among you
and those who were given knowledge, by degrees”
(QS. Al-Mujadilah: 11)*

*“Whoever travels a path in search of knowledge, Allah will
make easy for him a path to Paradise” (HR. Muslim)*

*"Education is not the learning of the facts, but the training of
the mind to think" (Albert Einstein)*

*“Speak with honesty, think with sincerity, and act with
integrity”*

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tesis yang berjudul **“IDENTIFIKASI RESISTENSI BEBERAPA GULMA DI PERKEBUNAN NANAS LAMPUNG TENGAH DAN KELAPA SAWIT LAMPUNG SELATAN TERHADAP HERBISIDA DIURON DAN GLIFOSAT”**. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari beberapa pihak, penulisan tesis ini tidak akan terselesaikan dengan baik, karena itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Drs. Mustofa, M.A., Ph.D. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Nanik Sriyani, M.Sc., selaku dosen Pembimbing Utama atas waktu, kesabaran, bimbingan, nasehat dan pengarahan yang telah diberikan kepada penulis selama penelitian dan penyusunan tesis.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc., selaku dosen Pembimbing Kedua, Pembimbing Akademik, dan Ketua Program Studi Pascasarjana Magister Agronomi atas waktu, kesabaran, bimbingan, nasehat dan pengarahan yang telah diberikan kepada penulis selama penelitian dan penyusunan tesis

4. Bapak Dr. Hidayat Pujisiswanto, S.P., M.P., selaku Penguji I bukan Pembimbing atas kritikan, masukan, saran dan nasehat yang telah diberikan selama penulisan tesis ini.
5. Bapak Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc., selaku Penguji II bukan Pembimbing atas kritikan, masukan, saran dan nasehat yang telah diberikan selama penulisan tesis ini.
6. Orang tua tercinta, Bapak H. Hairul Anwar dan Ibu Susanti, serta kakakku Hilda Oktaria, S.Pd. dan adikku Sabrina Nuari Putri atas doa, nasehat, kasih sayang, dan motivasi yang selalu diberikan kepada penulis.
7. Suami tercinta, Ahmad Arya Dimantara, S.H.I., atas doa, nasehat, kasih sayang, dan motivasi yang selalu diberikan kepada penulis.
8. Tim Perkebunan Nanas di Lampung Tengah dan Kelapa Sawit di Lampung Selatan (bagian gulma) yang telah membantu menyediakan bahan untuk penelitian.
9. Sahabat-sahabat penulis: Nia Fatmawati, S.P., Novi Anggraini, S.P., dan Putri Oktavyani Dewi atas semangat, dukungan, doa, dan nasehat yang diberikan kepada penulis.
10. Adik-adik Tim Penelitian Resistensi Gulma: Mora Shere Manurung, S.P., Kenny Titian Mutiara, S.P., Nawa Fauziah, S.P., Nisri Wijiati, S.P., Novia Dwi Anjani, S.P., Larasati Khadijah, I Gede Suwarta Jiwa, Vickram Kautsar, Leni Purnama Sari, dan Ni Wayan Chintia Nova yang telah memberikan bantuan dan kerjasama yang baik selama penulis melaksanakan penelitian.

11. Teman-teman kuliah Magister: Abdi Rachmansyah, S.P., Adawiah, S.P., M.Si., Husna, S.P., Hafiz Luthfi, S.P., Ika Rachma Pangesti, S.P., Rahmadyah Hamiranti, S.P., M.Si., Yeyen Ilmiasari, S.P., atas bantuan, semangat, dan doa selama perkuliahan dan penyusunan tesis.
12. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam melaksanakan dan menyelesaikan tesis ini.

Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat atas bantuan yang telah mereka berikan kepada penulis. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam tesis ini, akan tetapi penulis berharap semoga tesis ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca. Aamiin.

Bandar Lampung, Agustus 2019

Resti Puspa Kartika Sari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Kerangka Pemikiran.....	6
1.5 Hipotesis	9
II. TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Herbisida	10
2.2.1 Herbisida Diuron	10
2.2.2 Herbisida Glifosat	12
2.2 Gulma dan Pengendalian Gulma di Perkebunan	13
2.3 Resistensi Gulma terhadap Herbisida	16
2.4 Macam-Macam Resistensi	17
2.5 Perkembangan Resistensi.....	18
2.6 Studi Pendahuluan Resistensi Gulma dan Hasil yang Sudaha Dicapai	19
2.7 Herbisida dan Aktivitas Fisiologi Tumbuhan	22

III. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2 Alat dan Bahan.....	26
3.3 Metode Penelitian	27
3.4 Pelaksanaan Penelitian Tahap 1: Uji Resistensi Gulma	30
3.4.1 Survei Lapang	30
3.4.2 Penanaman dan Pemeliharaan Gulma.....	31
3.4.3 Aplikasi Herbisida	32
3.4.4 Pengamatan Penelitian Tahap 1: Uji Resistensi Gulma.....	32
3.4.5 Analisis Data Resistensi Gulma	33
3.5 Pelaksanaan Penelitian Tahap 2: Uji Aktivitas Fisiologi Pada Gulma Resisten	34
3.5.1 Penanaman dan Pemeliharaan Gulma Resisten Berdasarkan Hasil Uji Tahap 1	34
3.5.2 Aplikasi Herbisida	34
3.5.3 Pengamatan Aktivitas Fisiologi	35
3.5.4 Analisis Data Aktivitas Fisiologi	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Respon Gulma Indikator terhadap Herbisida Diuron.....	36
4.1.1 Gulma <i>Dactyloctenium aegyptium</i>	36
4.1.1.1 Persen Keracunan dan Respon <i>D. aegyptium</i> Akibat Aplikasi Diuron	36
4.1.1.2 Bobot Kering dan Persen Kerusakan <i>D. aegyptium</i> Akibat Aplikasi Diuron	39
4.1.1.3 Nilai LT_{50} <i>D. aegyptium</i> Akibat Aplikasi Diuron	41
4.1.1.4 Resistensi <i>D. aegyptium</i> terhadap Diuron	43
4.1.1.5 Laju Asimilasi Karbon <i>D. aegyptium</i> Akibat Aplikasi Diuron.....	44

4.1.1.6	Laju Konduktansi Stomata <i>D.aegyptium</i> Akibat Aplikasi Diuron.....	46
4.1.1.7	Laju Transpirasi <i>D. aegyptium</i> Akibat Aplikasi Diuron...	48
4.1.2	Gulma <i>Eleusine indica</i>	50
4.1.2.1	Persen Keracunan dan Respon Gulma <i>E.indica</i> Akibat Aplikasi Diuron	50
4.1.2.2	Bobot Kering dan Persen Kerusakan <i>D. aegyptium</i> Akibat Aplikasi Diuron	52
4.1.2.3	Nilai LT ₅₀ <i>E.indica</i> Akibat Aplikasi Diuron	53
4.1.2.4	Resistensi <i>E.indica</i> terhadap Diuron	54
4.1.3	Gulma <i>Praxelis clematidea</i>	56
4.1.3.1	Persen Keracunan dan Respon <i>P. clematidea</i> Akibat Aplikasi Diuron	56
4.1.3.2	Bobot Kering dan Persen Kerusakan <i>P. clematidea</i> Akibat Aplikasi Diuron	58
4.1.3.3	Nilai LT ₅₀ <i>P. clematidea</i> Akibat Aplikasi Diuron.....	59
4.1.3.4	Resistensi <i>P. clematidea</i> terhadap Diuron.....	63
4.2	Respon Gulma Indikator terhadap Herbisida Glifosat	62
4.2.1	Gulma <i>Asystasia gangetica</i>	62
4.2.1.1	Persen Keracunan dan Respon <i>A. gangetica</i> Akibat Aplikasi Glifosat.....	62
4.2.1.2	Bobot Kering dan Persen Kerusakan <i>A. gangetica</i> Akibat Aplikasi Glifosat.....	65
4.2.1.3	Nilai LT ₅₀ <i>A. gangetica</i> Akibat Aplikasi Glifosat	67
4.2.1.4	Resistensi <i>A. gangetica</i> terhadap Glifosat	68
4.2.1.5	Laju Asimilasi Karbon <i>A. gangetica</i> Akibat Aplikasi Glifosat	69
4.2.1.6	Laju Konduktansi Stomata <i>A. gangetica</i> Akibat Aplikasi Glifosat	72
4.2.1.7	Laju Transpirasi <i>A. gangetica</i> Akibat Aplikasi Glifosat ..	74

4.2.2 Gulma <i>Eleusine indica</i>	76
4.2.2.1 Persen Keracunan dan Respon <i>E. indica</i> Akibat Aplikasi Glifosat	76
4.2.2.2 Bobot Kering dan Persen Kerusakan <i>E. indica</i> Akibat Aplikasi Glifosat.....	79
4.2.2.3 Nilai LT ₅₀ <i>E. indica</i> Akibat Aplikasi Glifosat.....	81
4.2.2.4 Resistensi <i>E. indica</i> Akibat Aplikasi Glifosat	83
4.2.2.5 Laju Asimilasi Karbon <i>E. indica</i> Akibat Aplikasi Glifosat	84
4.2.2.6 Laju Konduktansi Stomata <i>E. indica</i> Akibat Aplikasi Glifosat	86
4.2.2.7 Laju Transpirasi <i>E. indica</i> Akibat Aplikasi Glifosat	88
V. KESIMPULAN DAN SARAN	91
5.1. Kesimpulan	91
5.2. Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN	100

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai LT_{50} <i>D. aegyptium</i> akibat aplikasi diuron	42
2. Nilai ED_{50} dan NR <i>D. aegyptium</i> akibat aplikasi diuron	43
3. Nilai LT_{50} <i>E. indica</i> terhadap diuron.....	54
4. Nilai ED_{50} dan NR <i>E. indica</i> akibat aplikasi diuron	55
5. Nilai LT_{50} <i>P. clematidea</i> akibat aplikasi diuron.....	60
6. Nilai ED_{50} dan NR <i>P. clematidea</i> akibat aplikasi diuron.....	61
7. Nilai LT_{50} <i>A. gangetica</i> akibat aplikasi glifosat.....	68
8. Nilai ED_{50} dan NR <i>A. gangetica</i> akibat aplikasi glifosat.....	69
9. Nilai LT_{50} <i>E. indica</i> akibat aplikasi glifosat.....	83
10. Nilai ED_{50} dan NR <i>E. indica</i> akibat aplikasi glifosat.....	84
11. Data asli persen keracunan <i>D. aegyptium</i> akibat aplikasi diuron	101
12. Data asli bobot kering <i>D. aegyptium</i> akibat aplikasi diuron	102
13. Data asli persen kerusakan <i>D. aegyptium</i> akibat aplikasi diuron	102
14. Data asli laju asimilasi karbon <i>D. aegyptium</i> akibat aplikasi diuron	103
15. Data asli laju konduktansi stomata <i>D. aegyptium</i> akibat aplikasi diuron	104

16. Data asli laju transpirasi stomata <i>D. aegyptium</i> akibat aplikasi diuron	105
17. Data asli persen keracunan <i>E. indica</i> akibat aplikasi diuron.....	106
18. Data asli bobot kering <i>E. indica</i> akibat aplikasi diuron	107
19. Data asli persen kerusakan <i>E. indica</i> akibat aplikasi diuron.....	107
20. Data asli persen keracunan <i>P. clematidea</i> akibat aplikasi diuron	108
21. Data asli bobot kering <i>P. clematidea</i> akibat aplikasi diuron.....	109
22. Data asli persen kerusakan <i>P. clematidea</i> akibat aplikasi diuron	109
23. Data asli persen keracunan <i>A. gangetica</i> akibat aplikasi glifosat	110
24. Data asli bobot kering <i>A. gangetica</i> akibat aplikasi glifosat.....	111
25. Data asli persen kerusakan <i>A. gangetica</i> akibat aplikasi glifosat	111
26. Data asli laju asimilasi karbon <i>A. gangetica</i> akibat aplikasi glifosat.....	112
27. Data asli laju konduktansi stomata <i>A. gangetica</i> akibat aplikasi glifosat.....	113
28. Data asli laju transpirasi stomata <i>A. gangetica</i> akibat aplikasi glifosat.....	114
29. Data asli persen keracunan <i>E. indica</i> akibat aplikasi glifosat	115
30. Data asli bobot kering <i>E. indica</i> akibat aplikasi glifosat.....	116
31. Data asli persen kerusakan <i>E. indica</i> akibat aplikasi glifosat	116
32. Data asli laju asimilasi karbon gulma <i>E. indica</i> akibat aplikasi glifosat.....	117
33. Data asli laju konduktansi stomata <i>E. indica</i> akibat aplikasi glifosat.....	118
34. Data asli laju transpirasi stomata <i>E. indica</i> akibat aplikasi glifosat.....	119

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Rumus bangun herbisida diuron.....	11
2. Rumus bangun glifosat.....	13
3. Perkembangan kasus resistensi di dunia	18
4. Perkembangan jumlah spesies gulma yang resisten berdasarkan mekanisme kerja herbisida.....	19
5. Tata letak percobaan resistensi <i>Dactyloctenium aegyptum</i> terhadap diuron.....	28
6. Tata letak percobaan resistensi <i>Eleusine indica</i> terhadap diuron	28
7. Tata letak percobaan resistensi <i>Praxelis clematidea</i> terhadap diuron	29
8. Tata letak percobaan resistensi <i>Asystasia gangetica</i> terhadap glifosat.....	29
9. Tata letak percobaan resistensi <i>Eleusine indica</i> terhadap glifosat.....	30
10. Titik lokasi pengambilan gulma (a) gulma terpapar diuron, koordinat 4 ⁰ 49'10.9"S 105 ⁰ 11'31.4"E di Terbanggi Besar; (b) gulma tidak terpapar diuron, koordinat 4 ⁰ 53'33.5"S 105 ⁰ 12'55.2"E di Terbanggi Besar; (c) gulma terpapar glifosat, koordinat 5 ⁰ 17'51.2"S 105 ⁰ 10'39.2"E di Natar; (d) gulma tidak terpapar glifosat, koordinat 5 ⁰ 17'40.4"S 105 ⁰ 10'43.6"E di Natar.....	31
11. Nilai persen keracunan <i>Dactyloctenium aegyptium</i> akibat aplikasi diuron.....	37
12. Respon <i>Dactyloctenium aegyptium</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi diuron pada 14 HSA.....	38

13. Pengaruh diuron terhadap bobot kering <i>Dactyloctenium aegyptium</i>	40
14. Pengaruh diuron terhadap persen kerusakan <i>Dactyloctenium aegyptium</i>	41
15. Laju asimilasi karbon <i>Dactyloctenium aegyptium</i> akibat aplikasi diuron (a) 4 HSA; (b) 8 HSA; dan (c) 12 HSA	45
16. Laju konduktansi stomata <i>Dactyloctenium aegyptium</i> akibat aplikasi diuron (a) 4 HSA; (b) 8 HSA; dan (c) 12 HSA	47
17. Laju transpirasi <i>Dactyloctenium aegyptium</i> akibat aplikasi diuron (a) 4 HSA; (b) 8 HSA; dan (c) 12 HSA	49
18. Nilai persen keracunan <i>Eleusine indica</i> akibat aplikasi diuron...	50
19. Respon <i>Eleusine indica</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi diuron pada 14 HSA	51
20. Pengaruh diuron terhadap bobot kering <i>Eleusine indica</i>	52
21. Pengaruh diuron terhadap persen kerusakan <i>Eleusine indica</i>	53
22. Nilai persen keracunan <i>Praxelis clematidea</i> akibat aplikasi diuron	56
23. Respon <i>Praxelis clematidea</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi diuron pada 14 HSA	57
24. Pengaruh diuron terhadap bobot kering <i>Praxelis clematidea</i>	58
25. Pengaruh diuron terhadap persen kerusakan <i>Praxelis clematidea</i>	61
26. Nilai persen keracunan <i>Asystasia gangetica</i> akibat aplikasi glifosat.....	64
27. Respon <i>Asystasia gangetica</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi glifosat pada 14 HSA	65
28. Pengaruh glifosat terhadap bobot kering <i>Asystasia gangetica</i>	66
29. Pengaruh glifosat terhadap persen kerusakan <i>Asystasia gangetica</i>	67
30. Laju asimilasi karbon <i>Asystasia gangetica</i> akibat aplikasi glifosat (a) 4 HSA; (b) 8 HSA; dan (c) 12 HSA	71

31. Laju konduktansi stomata <i>Asystasia gangetica</i> akibat aplikasi glifosat (a) 4 HSA; (b) 8 HSA; dan (c) 12 HSA	73
32. Laju transpirasi gulma <i>Asystasia gangetica</i> akibat aplikasi glifosat (a) 4 HSA; (b) 8 HSA; dan (c) 12 HSA	75
33. Nilai persen keracunan <i>Eleusine indica</i> akibat aplikasi glifosat	77
34. Respon <i>Eleusine indica</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi glifosat pada 14 HSA.....	78
35. Pengaruh glifosat terhadap bobot kering <i>Eleusine indica</i>	80
36. Pengaruh glifosat terhadap persen kerusakan <i>Eleusine indica</i>	81
37. Laju asimilasi karbon <i>Eleusine indica</i> akibat aplikasi glifosat (a) 4 HSA; (b) 8 HSA; dan (c) 12 HSA	85
38. Laju konduktansi stomata <i>Eleusine indica</i> akibat aplikasi glifosat (a) 4 HSA; (b) 8 HSA; dan (c) 12 HSA	87
39. Laju transpirasi <i>Eleusine indica</i> akibat aplikasi glifosat (a) 4 HSA; (b) 8 HSA; dan (c) 12 HSA	89

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanas (*Ananas comusus* L.) dan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas perkebunan unggulan di Indonesia khususnya di Lampung. Nanas merupakan komoditas buah tropis yang sangat potensial di perdagangan dunia, sedangkan kelapa sawit adalah tanaman penghasil minyak yang menjadi salah satu sumber devisa bagi negara. Namun, seperti proses budidaya tanaman pada umumnya, budidaya nanas di Lampung Tengah dan kelapa sawit di Lampung Selatan tidak lepas dari masalah organisme pengganggu tanaman yaitu hama, penyakit, dan gulma.

Gulma merupakan suatu tumbuhan yang kehadirannya tidak diinginkan pada lahan pertanian. Keberadaan gulma dapat menurunkan kualitas dan kuantitas produksi tanaman, serta mengganggu kegiatan budidaya seperti pemupukan dan pemanenan. Keberadaan gulma pada perkebunan nanas dapat menurunkan hasil buah sebesar 20-42% (Sunarjono, 2008). Berdasarkan hasil wawancara dengan manajer proteksi tanaman di perkebunan nanas Lampung Tengah pada tahun 2016, dilaporkan bahwa gulma-gulma di perkebunan nanas Lampung Tengah yang sulit dikendalikan yaitu *Dactyloctenium aegyptium*, *Eleusine indica*, dan *Praxelis clematidea*.

Pada perkebunan kelapa sawit, gulma di sekitar piringan dapat menurunkan kualitas dan kuantitas tandan buah segar. Gulma-gulma yang dominan dan sulit dikendalikan di perkebunan kelapa sawit Lampung Selatan yaitu *Asystasia gangetica* dan *E. indica*. Pentingnya komoditas nanas dan kelapa sawit sebagai komoditas unggulan di Lampung, mengharuskan adanya manajemen pengendalian gulma yang tepat.

Pengendalian gulma di perkebunan nanas Lampung Tengah dan kelapa sawit Lampung Selatan dilakukan secara terpadu yaitu dengan menggabungkan pengendalian secara olah tanah, mekanik, dan kimiawi. Pengendalian gulma secara kimiawi menggunakan herbisida telah menjadi teknologi yang populer dan efisien untuk skala besar. Peningkatan penggunaan herbisida disebabkan oleh beberapa faktor yaitu jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan lebih efisien, waktu pelaksanaan pengendalian gulma relatif singkat, dan biaya pengendalian lebih murah (*cost effective*) dibandingkan dengan teknik lain.

Di perkebunan nanas Lampung Tengah, herbisida yang biasa digunakan yaitu ametrin, bromasil, quizalopop, dan diuron. Berdasarkan hasil wawancara dengan manajer proteksi tanaman di perkebunan nanas Lampung Tengah (2016) dilaporkan bahwa herbisida diuron telah digunakan selama lebih dari 30 tahun secara rutin pada saat sebelum tanam (*preplanting*) atau pun setelah tanam (*postplanting*). Saat sebelum tanam herbisida diuron diaplikasikan dengan dosis formulasi 1–3 kg/ha, sedangkan saat setelah tanam dengan dosis 1–2 kg/ha. Penggunaan herbisida tersebut dipertahankan hingga saat ini karena sifatnya yang tidak toksik terhadap buah nanas.

Pengendalian gulma secara kimiawi pun diterapkan di perkebunan kelapa sawit Lampung Selatan. Herbisida glifosat intensif digunakan untuk mengendalikan gulma di perkebunan kelapa sawit lebih dari 30 tahun. Glifosat merupakan herbisida paling penting dan banyak digunakan di dunia baik dalam skala kecil maupun skala besar yang mewakili 67% pangsa pasar agrokimia di dunia. Keunggulan glifosat antara lain penggunaannya mudah, efektif, serta efisien dalam penggunaan waktu dan tenaga kerja (Baylis, 2000).

Tantangan utama penggunaan herbisida saat ini adalah munculnya resistensi gulma terhadap herbisida tertentu. Resistensi terjadi akibat aplikasi herbisida dengan mekanisme kerja yang sama terhadap gulma yang terus menerus dalam jangka waktu lama pada suatu areal sehingga gulma toleran terhadap herbisida tersebut. Gulma yang resisten tetap bertahan hidup dan bereproduksi pada dosis herbisida yang biasanya efektif mengendalikan gulma tersebut.

Kerugian akibat adanya resistensi gulma terhadap herbisida yaitu peningkatan dosis herbisida yang digunakan untuk mengatasi gulma resisten sehingga biaya pembelian herbisida meningkat. Secara ekologis, peningkatan dosis herbisida tentu dapat meningkatkan resiko pencemaran lingkungan akibat residu herbisida. Selain itu, adanya resistensi gulma terhadap herbisida menyebabkan petani kehilangan sebuah alat pengendali gulma yang penting, efektif, dan murah.

Tren resistensi gulma di dunia meningkat dari tahun ke tahun. Berdasarkan data Heap (2019) diketahui bahwa di seluruh dunia pada tahun 1995 terdapat 192 biotipe gulma resisten, meningkat menjadi 337 biotipe pada tahun 2005, lalu menjadi 498 biotipe pada tahun 2018. Khusus untuk jumlah spesies gulma yang resisten terhadap herbisida diuron (*PSII inhibitors*) yaitu 11 pada tahun 1990,

menjadi 18 pada tahun 1995, menjadi 20 pada tahun 2000, terus meningkat menjadi 29 pada tahun 2018. Jumlah spesies gulma yang resisten terhadap herbisida glifosat (penghambat enzim 5-enolpyruvylshikimate 3-fosfat /EPSP inhibitors) juga dilaporkan terus meningkat. Pada tahun 1990-1995 belum ada laporan tentang resistensi gulma terhadap glifosat, tetapi telah dilaporkan ada 3 pada tahun 2000, 14 pada tahun 2005, 25 pada tahun 2010, terus meningkat menjadi 38 pada 2015, dan ada 43 spesies gulma yang dilaporkan resisten terhadap glifosat pada tahun 2018.

Kasus resistensi herbisida juga telah banyak dilaporkan. Telah terjadi resistensi ganda pada gulma *Phalaris minor* Retz. yang menjadi masalah penting pada pertanaman gandum di India. *P. minor* Retz. dilaporkan menjadi resisten terhadap herbisida kelompok inhibitor fotosistem II, asetil ko-enzim A karboksilase (ACC-ase), dan asetolaktat sintase (ALS) (Chhokar, 2014). Dilaporkan juga oleh Seng and Ismail (2010) bahwa terjadi resistensi beberapa gulma asal perkebunan karet dan kelapa sawit di Malaysia terhadap beberapa herbisida. Gulma-gulma tersebut adalah *E. indica*, *Hedyotis verticillata*, *Clidemia hirta*, dan *Chromolaena odorata*. Resistensi tersebut terjadi terhadap herbisida glifosat, paraquat, dan metsulfuron. Pemetaan resistensi tersebut berhasil ditemukan di beberapa negara bagian Malaysia, yaitu Terengganu, Kelantan, Pahang, Kedah, Selangor, Perak, Johor, dan Sarawak.

Meskipun tren resistensi gulma terhadap herbisida di dunia meningkat tajam dan sudah banyak kasus resistensi yang dilaporkan, namun di Indonesia informasi tentang perkembangan resistensi gulma terhadap herbisida masih sangat sedikit. Hal ini tentu menimbulkan banyak pertanyaan karena herbisida telah digunakan

secara intensif di Indonesia selama lebih dari 30 tahun. Berdasarkan data *The International Survey of Herbicide Resistant Weeds* hanya ada dua spesies gulma resisten terhadap herbisida yang dilaporkan di Indonesia, yaitu *Limnocharis flava* dan *E. indica* (Heap, 2019).

Kondisi tersebut diduga karena tidak ada laporan mengenai resistensi gulma atau tidak ada penelitian yang intensif tentang adanya resistensi gulma di lapangan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan identifikasi resistensi beberapa gulma terhadap herbisida diuron dan glifosat yang masing-masing banyak digunakan di perkebunan nanas dan kelapa sawit di Lampung.

Resistensi herbisida dapat diketahui melalui dosis efektif 50% (ED_{50}). ED_{50} merupakan dosis yang dibutuhkan untuk menekan atau meracuni gulma sebesar 50%. Perhitungan ED_{50} diperlukan untuk mengetahui dosis perlakuan herbisida dan angka harapan pada kerusakan 50% sehingga status atau nisbah resistensi (NR) dapat diketahui. Dari hasil penelitian tersebut akan diketahui apakah gulma masih merespon herbisida yang diaplikasikan atau telah terjadi resistensi gulma terhadap herbisida. Resistensi yang terjadi kemudian dikonfirmasi melalui aktivitas fisiologi gulma. Penelitian ini diharapkan mampu memetakan gulma yang resisten terhadap herbisida, sehingga membantu para *stakeholder* pertanian untuk mengembangkan strategi manajemen gulma resisten yang tepat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat disusun perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah kecepatan keracunan 50% (LT_{50}) gulma yang terpapar dan tidak terpapar herbisida diuron dan glifosat?

2. Apakah terjadi resistensi pada gulma yang terpapar herbisida diuron dan glifosat?
3. Bagaimana perbedaan aktivitas fisiologi pada gulma yang resisten dan sensitif terhadap herbisida diuron dan glifosat?

1.3 Tujuan

Berdasarkan identifikasi dan perumusan masalah, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui kecepatan keracunan 50% (LT_{50}) gulma yang terpapar herbisida herbisida diuron dan glifosat.
2. Mengetahui terjadi atau tidaknya resistensi pada gulma yang terpapar herbisida diuron dan glifosat.
3. Mengetahui perbedaan aktivitas fisiologi pada gulma yang resisten dan sensitif terhadap herbisida diuron dan glifosat.

1.4 Kerangka Pemikiran

Pengendalian gulma di perkebunan nanas dan kelapa sawit sangat penting untuk dilakukan. Gulma memiliki daya saing tinggi dengan tanaman yang dibudidayakan sehingga menyebabkan terjadinya persaingan sarana tumbuh yang dapat mengakibatkan penurunan hasil dan kualitas produksi. Salah satu metode pengendalian gulma yaitu secara kimiawi menggunakan herbisida. Herbisida telah menjadi teknologi yang populer dan efisien digunakan untuk skala besar. Herbisida menghambat proses biokimia dan fisiologis gulma atau keduanya dengan konsekuensi mematikan.

Pada perkebunan nanas di Lampung Tengah, salah satu herbisida yang digunakan untuk mengendalikan gulma adalah herbisida berbahan aktif diuron. Diuron bekerja dengan mengikat protein D1 dan menghambat transpor elektron dengan bertindak sebagai plastoquinone yang tidak dapat direduksi. Akibatnya aktivitas fotosintesis di PS II terhambat dan gulma akan mengalami kematian (Fuerst and Norman, 1991).

Pada perkebunan kelapa sawit di Lampung Selatan, herbisida yang biasa digunakan untuk mengendalikan gulma adalah herbisida glifosat. Herbisida glifosat bekerja dengan menghambat biosintesis asam amino aromatik (*phenylalanine, tryptophan, and tyrosine*) melalui penghambatan enzim EPSP-ase. Penghambatan sintesis asam amino akan menyebabkan pertumbuhan gulma akan terhenti dan akhirnya mati karena metabolismenya terganggu.

Pengendalian gulma tersebut dilakukan secara rutin untuk menjaga kuantitas dan kualitas produksi. Namun, penggunaan herbisida dengan mekanisme kerja yang sama terhadap gulma secara terus menerus dalam jangka waktu lama pada suatu areal dapat menimbulkan resistensi gulma terhadap herbisida. Resistensi gulma terhadap herbisida adalah kemampuan gulma untuk bertahan hidup dan bereproduksi pada dosis herbisida yang biasanya efektif mengendalikan gulma tersebut. Apabila gulma yang resisten bereproduksi, maka akan menghasilkan keturunan yang resisten pula.

Dilaporkan oleh Heap (2019) bahwa kasus resistensi gulma di dunia meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 1995 dilaporkan terdapat 192 biotipe gulma resisten dan pada tahun 2017 jumlah biotipe gulma resisten meningkat menjadi 494 biotipe. Peningkatan kasus resistensi tersebut terjadi pada beberapa kelompok

herbisida, termasuk diuron dan glifosat. Pada tahun 1990 terdapat 11 spesies gulma resisten terhadap diuron (*PS II Inhibitor*) dan meningkat menjadi 29 pada tahun 2018. Hal yang sama terjadi pada herbisida glifosat, pada tahun 2000 dilaporkan terdapat 3 spesies resisten, menjadi 41 pada tahun 2017, dan meningkat menjadi 43 spesies resisten pada tahun 2018.

Walaupun kasus resistensi gulma terhadap herbisida secara global sudah banyak dilaporkan, namun di Indonesia laporan kasus resistensi masih sangat sedikit termasuk pada perkebunan nanas dan kelapa sawit. Padahal herbisida sudah rutin digunakan lebih dari 30 tahun. Selain itu, telah diketahui bahwa terdapat beberapa gulma yang sulit dikendalikan seperti *P.clematidea* (gulma berdaun lebar), dan *D.aegyptium*, *E. indica* (gulma rumput) di perkebunan nanas Lampung Tengah. Diketahui juga bahwa gulma *A. gangetica* (gulma berdaun lebar) dan *E. indica* (gulma rumput), asal perkebunan kelapa sawit Lampung Selatan sulit dikendalikan. Tidak menutup kemungkinan bahwa gulma-gulma tersebut mengalami resistensi terhadap herbisida.

Berdasarkan keterangan di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui respon gulma-gulma asal perkebunan nanas dan perkebunan kelapa sawit tersebut. Dari hasil penelitian, akan diketahui apakah gulma masih merespon herbisida yang diaplikasikan atau telah terjadi resistensi gulma terhadap herbisida tersebut. Mekanisme resistensi yang terjadi kemudian dikonfirmasi melalui aktivitas fisiologi gulma.

Target molekul herbisida biasanya adalah enzim yang terlibat dalam proses metabolisme atau protein yang menjalankan fungsi fisiologis esensial. Oleh karena itu gulma yang terbukti resisten kemudian dianalisis secara molekuler

untuk mengetahui secara pasti mekanisme resistensi yang terjadi. Pengujian aktivitas fisiologi gulma melalui pengukuran laju asimilasi karbon, konduktansi stomata, dan transpirasi.

1.5 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah dikemukakan, maka untuk menjawab rumusan masalah diajukan hipotesis sebagai berikut:

1. Gulma yang terpapar herbisida diuron dan glifosat menunjukkan respon keracunan 50% (LT_{50}) yang lebih lama dibandingkan gulma yang tidak terpapar.
2. Terjadi resistensi pada gulma yang terpapar herbisida diuron dan glifosat.
3. Terdapat perbedaan aktivitas fisiologi pada gulma yang resisten dan sensitif terhadap herbisida diuron dan glifosat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Herbisida

Pengendalian gulma secara kimiawi menggunakan herbisida telah menjadi teknologi yang populer dan efisien untuk skala besar. Herbisida menghambat proses biokimia dan fisiologis gulma atau keduanya dengan konsekuensi mematikan. Target molekul herbisida biasanya adalah enzim yang terlibat dalam proses metabolisme atau protein yang menjalankan fungsi fisiologis esensial (Dayan *et al.*, 2015). Berikut ini adalah informasi beberapa herbisida yang digunakan untuk mengendalikan gulma di perkebunan.

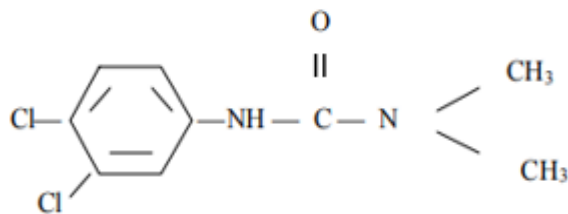
2.1.1 Herbisida Diuron

Diuron merupakan herbisida dari famili urea yang dikembangkan oleh DuPont Amerika pada tahun 1951. Nama kimia dari herbisida diuron adalah 3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea dengan rumus bangun seperti pada Gambar 1. Diuron bersifat sistemik dan bekerja secara selektif. Hasil wawancara dengan manajer proteksi tanaman di perkebunan nanas Lampung Tengah (2016) dilaporkan bahwa diuron penting dalam pengendalian gulma sejak 20–30 tahun terakhir di perkebunan nanas. Dilaporkan oleh Direktorat Pupuk dan Pestisida (2016) bahwa herbisida berbahan aktif diuron diperdagangkan dengan berbagai merk, contohnya Amcoron 80 WP untuk mengendalikan gulma *Synedrella nodiflora*, *Borreria alata*, dan *Paspalum conjugatum* di pertanaman ubi kayu, Bimaron

80 WP untuk mengendalikan *Brachiaria mutica* di pertanaman nanas, *Ageratum conyzoides* di pertanaman ubi kayu, dan Barren 80 WP untuk mengendalikan *B. alata*, *S. nodiflora*, *Eleusine indica* serta *A. conyzoides* di pertanaman nanas, dan Centaron 80 WP untuk mengendalikan *B. alata* dan *Mimosa invisa* di perkebunan tebu.

Aplikasi herbisida diuron dengan dosis 2 kg/ha mampu menekan pertumbuhan gulma utama di perkebunan tebu PT Gula Putih Mataram, Lampung Tengah.

Aplikasi diuron dengan dosis tersebut mampu mengendalikan gulma *Dactyloctenium aegyptium*, *B. alata*, *Cynodon dactylon*, dan *Cleome rutidospermae* hingga 8 minggu setelah aplikasi (MSA) (Wijaya, 2012).



Gambar 1. Rumus bangun herbisida diuron (Agustanti, 2006).

Menurut Fuerst and Norman (1991), herbisida diuron biasanya diabsorpsi melalui akar dan ditranslokasikan ke daun melalui batang. Diuron bekerja dengan menghambat fotosintesis pada PS II. Herbisida kelompok inhibitor PS II mengikat protein D1 dan menghambat transpor elektron dengan bertindak sebagai plastoquinone (PQ) yang tidak dapat direduksi. Pengikatan protein tersebut mencegah transfer elektron dari PQA menuju PQB yang diperlukan untuk mendorong sintesis ATP. Hal tersebut secara tidak langsung menghalangi transfer energi eksitasi dari molekul klorofil ke pusat reaksi PS II, sehingga fotosintesis terhambat.

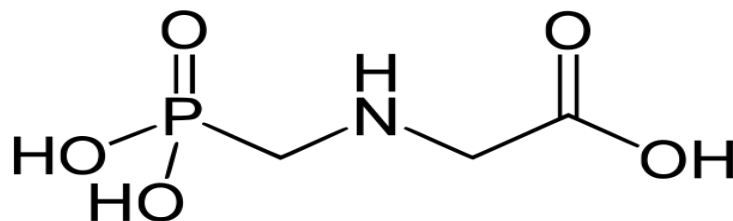
2.1.2 Herbisida Glifosat

Glifosat merupakan herbisida dari famili glycine. Nama kimia glifosat adalah [*N*-(phosphonomethyl)glycine] acetic acid dengan rumus bangun seperti pada Gambar 2. Glifosat merupakan herbisida non-selektif, memiliki spektrum yang luas, bersifat sistemik, dan umumnya digunakan sebagai herbisida pasca tumbuh. Herbisida glifosat merupakan herbisida lama yang telah digunakan lebih dari 3 dekade. Glifosat dipasarkan oleh Monsanto pada tahun 1970an dengan merk dagang Roundup yang hingga kini banyak digunakan di seluruh dunia.

Berdasarkan data Direktorat Pupuk dan Pestisida (2016) merk dagang herbisida berbahan aktif glifosat diantaranya adalah Roundup 486 SL untuk mengendalikan gulma *Imperata cylindrica* pada tanaman akasia, *C. dactylon*, *A.conyzoides*, *B. alata*, *E. indica*, *Setaria plicata*, *P.conjugatum* pada tanaman cengkeh, jagung, kakao, karet, kelapa sawit, kopi tebu, teh, Amco Up 486 SL untuk mengendalikan gulma berdaun lebar dan berdaun sempit di lahan jagung tanpa olah tanah, kakao, kelapa sawit TBM, dan Agroup 486 SL untuk mengendalikan *Clidemia hirta*, *B. alata*, dan *Ottochloa nodosa* pada tanaman kelapa sawit (TBM).

Hasil survei di tingkat petani membuktikan bahwa glifosat mampu mematikan 99% gulma di perkebunan jagung Amerika (Wechsler *et al.*, 2017). Aplikasi glifosat dengan dosis 400–1600 g b.a/ha mampu mengendalikan pertumbuhan 25 jenis gulma daun lebar dan 7 jenis gulma rumput di perkebunan kelapa sawit pada fase tanaman belum menghasilkan (TBM) hingga 15 MSA. Gulma berdaun lebar yang dominan *Croton hirtus* dan *A. gangetica*, sedangkan gulma rumput yang dominan adalah *Paspalum commersonii* (Mohamad *et al.*, 2010). Glifosat mampu mengendalikan gulma *O.nodosa*, *Cyclosorus aridus*, *Dryopteris affinis*, *Panicum*

repens, *Axonopus compressus*, *P. conjugatum*, *Borreria latifolia*, *Stachytarpheta jamaicensis*, dan *Dryopteris filix-max* di perkebunan kelapa sawit, Bengkulu hingga 16 minggu setelah aplikasi (Simarmata *et al.*, 2017).



Gambar 2. Rumus bangun glifosat (FAO, 2016).

Mekanisme kerja glifosat yaitu dengan menghambat biosintesis asam amino aromatik (phenylalanine, tryptophan, dan tyrosine) melalui penghambatan enzim 5-enol-pyruvylthikimate-3-phosphate synthase (EPSP-synthase) (Nandula *et al.*, 2005). Penghambatan sintesis asam amino tersebut akan menyebabkan pertumbuhan gulma terhenti dan akhirnya mati. Menurut Duke and Powles (2008) glifosat mengikat dan memblokir aktifitas enzim EPSP-ase yang berperan penting dalam mengubah karbohidrat sederhana dari glikolisis dan jalur fosfat pentosa menjadi asam amino aromatik dan bentuk lainnya yang berperan penting untuk metabolisme tumbuhan.

2.2 Gulma dan Pengendalian Gulma di Perkebunan

Gulma merupakan salah satu faktor biotik yang dapat menyebabkan kehilangan hasil panen apabila tidak dikendalikan secara efektif. Dilaporkan oleh Oerke (2006) bahwa secara keseluruhan, kehilangan hasil produksi pertanian akibat gulma sebesar 34% dari potensi hasil, sedangkan akibat hama dan patogen sebesar 18% dan 16%. Masalah keberadaan gulma pada tanaman menjadi lebih penting karena merupakan ancaman serius bagi perkebunan-perkebunan di Indonesia.

Berikut ini disajikan informasi beberapa gulma yang tumbuh luas pada areal perkebunan nanas dan sawit. Dilaporkan oleh Mohamed and Seman (2012) bahwa gulma golongan rumput dan daun lebar tumbuh luas dan beberapa mendominasi di areal perkebunan kelapa sawit. Gulma golongan rumput; *E. indica*, *I. cylindrica*, *Ischaemum muticum*, dan *Pennisetum polystachion*. Gulma golongan daun lebar; *Mikania micrantha*, *C. hirta*, *A. gangetica*, *Melastoma malathricum*, *C. odorata*, *A. conyzoides*, *Borreria latifolia*, dan *Lantana camara*. Dilaporkan oleh Sriyani (2015) beberapa gulma penting pada perkebunan sawit. Golongan rumput; *O. nodosa*, *P. conjugatum*, golongan daun lebar; *B. alata*, *M. micrantha*, *M. invisa*, golongan teki; *Cyperus rotundus*, dan *Cyperus kylingia*.

Gulma yang tumbuh luas, beberapa mendominasi, dan sulit dikendalikan di perkebunan nanas Lampung Tengah mencakup tiga golongan gulma. Gulma golongan rumput; *E. indica*, *S. plicata*, *Brachiaria eruciformis*, *Digitaria ciliaris* dan *D. aegyptium*. Gulma golongan daun lebar; *A. gangetica*, *A. conyzoides*, *B. alata*, *Mimosa invisa*, dan *M. micrantha*. Golongan teki; *Cyperus iria*, dan *Cyperus compressus* (Habibah, 2016). Berdasarkan hasil wawancara dengan manajer proteksi tanaman di perkebunan nanas Lampung Tengah, Bapak Basuki (2016) melaporkan bahwa saat ini ada satu jenis gulma baru yang sulit dikendalikan yaitu *P. clematidea*.

Menurut Sembodo (2010), gulma di perkebunan dapat dikendalikan dengan beberapa metode, yaitu metode mekanis, biologis, kimiawi, dan pengendalian terpadu dengan menggabungkan beberapa metode sekaligus. Pengendalian gulma secara kimiawi menggunakan herbisida telah menjadi teknologi yang populer dan efisien untuk skala besar di perkebunan. Pengendalian dengan herbisida dinilai

lebih praktis, tenaga kerja yang dibutuhkan lebih sedikit, waktu pengendalian relatif lebih singkat, dan biaya pengendalian lebih murah dibandingkan dengan metode lain.

Berdasarkan hasil wawancara dengan Bapak Basuki, manajer proteksi tanaman di perkebunan nanas Lampung Tengah (2016) dilaporkan bahwa pada perkebunan nanas di Lampung Tengah, pengendalian gulma dilakukan secara kimiawi, herbisida yang paling banyak digunakan adalah bromasil dan diuron. Herbisida tersebut telah digunakan selama lebih dari 30 tahun secara rutin pada saat sebelum tanam (*preplanting*) ataupun setelah tanam (*postplanting*). Aplikasi herbisida diuron dengan dosis 1,5–2 kg/ha bersamaan dengan herbisida quizalopop 2 l/ha dilakukan 1 minggu sebelum tanam dan 1 bulan setelah tanam. Penggunaan herbisida tersebut dipertahankan hingga saat ini karena sifatnya yang tidak toksik terhadap buah nanas.

Pengendalian gulma secara kimiawi pun diterapkan pada perkebunan kelapa sawit di Lampung Selatan. Herbisida glifosat intensif digunakan untuk mengendalikan gulma di perkebunan kelapa sawit lebih dari 30 tahun. Glifosat merupakan herbisida paling penting dan banyak digunakan di dunia baik dalam skala kecil maupun skala besar yang mewakili 67% pangsa pasar agrokimia di dunia. Lebih lanjut, glifosat terbukti mudah digunakan, efektif, serta efisien waktu dan tenaga kerja (Baylis, 2000).

Metode pengendalian gulma secara kimiawi dengan herbisida memang lebih menguntungkan dibandingkan dengan metode lain. Namun, penggunaan herbisida juga memiliki kekurangan atau kelemahan. Aplikasi herbisida dapat menyebabkan keracunan vegetasi non-target, keracunan pada tanaman yang

dibudidayakan, dan mempengaruhi keseimbangan di agroekosistem (Boutin *et al.*, 2014). Selain itu, aplikasi herbisida secara terus-menerus dapat mengakibatkan munculnya gulma-gulma yang tahan terhadap herbisida. Residu aplikasi herbisida pun dapat mencemari lingkungan dan berdampak negatif bagi kesehatan manusia.

2.3 Resistensi Gulma terhadap Herbisida

Resistensi gulma terhadap herbisida adalah hasil seleksi alam yang normal terjadi dan dapat diprediksi. Gulma resisten mampu bertahan hidup dan berkembang pada paparan herbisida dengan dosis yang umumnya mematikan spesies tersebut. Resistensi herbisida terjadi akibat penggunaan herbisida secara terus menerus ke titik di mana populasi gulma tidak dapat lagi dikendalikan oleh herbisida pada dosis yang direkomendasikan. Menurut Ferrel (2014), resistensi gulma terhadap herbisida dapat dipengaruhi oleh dua faktor. Faktor pertama adalah munculnya biotipe resisten di antara populasi sensitif sehingga populasi gulma resisten bertambah banyak. Faktor kedua adalah akibat penerapan pola tanam monokultur, sehingga penggunaan herbisida yang sama untuk mengendalikan gulma di areal yang sama dan melindungi tanaman yang sama selama bertahun-tahun, sehingga menimbulkan resistensi gulma terhadap herbisida.

Menurut Heap (2014) terdapat lima mekanisme utama resistensi herbisida yaitu:

1. Perubahan situs target yang disebabkan oleh hasil modifikasi susunan enzim yang menghalangi herbisida dari efektifitas substitusi. Jika herbisida tidak dapat mengikat enzim maka tanaman akan bertahan hidup karena masih bisa memproduksi asam-asam amino yang berguna dalam sintesis DNA.
2. Peningkatan metabolisme pada gulma sehingga gulma mampu mendegradasi herbisida sebelum merusak susunan enzim.

3. Penurunan daya penyerapan dan/atau translokasi herbisida karena gerakan herbisida dibatasi sehingga herbisida tidak mencapai lokasi kerjanya dalam konsentrasi yang cukup untuk menyebabkan kematian.
4. Penyerapan herbisida ke dalam vakuola atau ke dinding sel yang menyebabkan herbisida tetap terjaga sebelum mensubstitusi ke dalam molekul enzim.
5. Amplifikasi gen/over-ekspresi yang menyebabkan terjadinya peningkatan produksi enzim sasaran herbisida sehingga gulma menjadi resisten.

2.4 Macam-Macam Resistensi

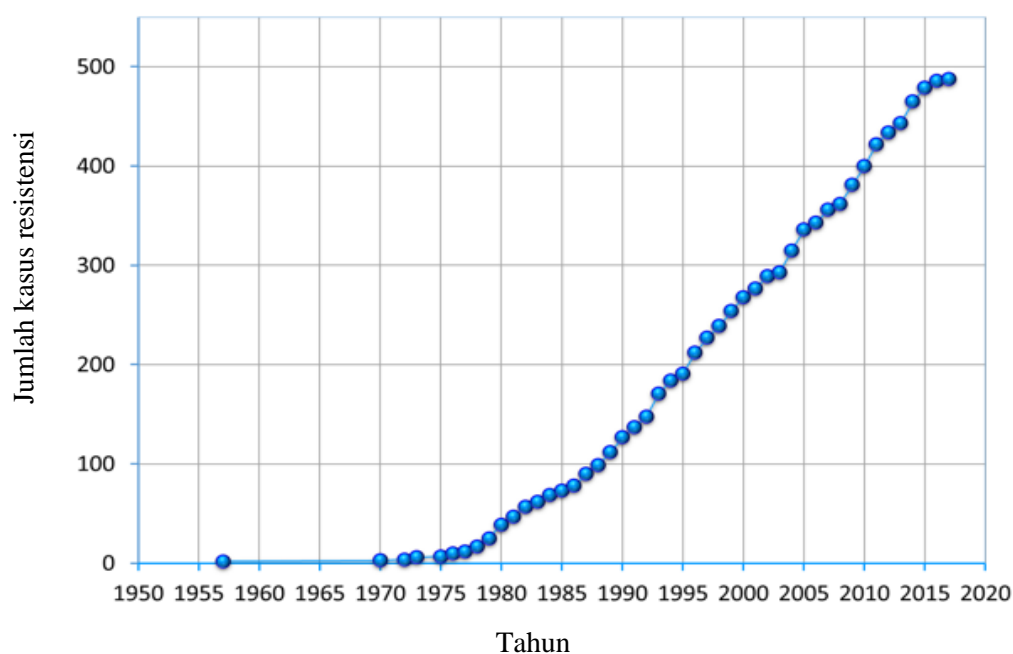
Dalam beberapa kasus, terdapat gulma resisten yang mampu bertahan hidup walaupun bukan diaplikasikan dengan herbisida yang menyebabkan gulma tersebut resisten. Resistensi gulma dikelompokkan menjadi *cross resistance* (resistensi silang) dan *multiple resistance* (resistensi ganda). Resistensi silang terjadi ketika populasi gulma menjadi resisten terhadap herbisida lain dalam kelompok kimia berbeda tetapi memiliki mekanisme kerja yang sama dengan herbisida yang telah diaplikasikan sebelumnya. Resistensi ganda terjadi ketika populasi gulma mengalami resistensi terhadap dua atau lebih herbisida dalam kelompok kimia dan mekanisme kerja yang berbeda dengan herbisida awal penyebab resistensi (Powles and Shaner, 2001).

Kemungkinan terjadinya resistensi dapat dipahami dengan mengetahui tingkat resistensi herbisida yang digunakan. Herbisida juga dikelompokkan berdasarkan kemudahannya untuk menyebabkan resistensi yaitu *high-risk* dan *moderate-risk*. Herbisida kelompok *high-risk* menyebabkan resistensi terjadi dengan cepat, sedangkan herbisida *moderate-risk* menyebabkan resistensi akan terjadi lebih lambat. Herbisida yang digunakan dalam penelitian ini (diuron dan glifosat)

termasuk dalam kelompok *moderate-risk* (CropLife Australia, 2008). Meskipun tergolong dalam kategori *moderate-risk*, saat ini sudah banyak laporan mengenai resistensi gulma terhadap herbisida diuron dan glifosat.

2.5 Perkembangan Resistensi

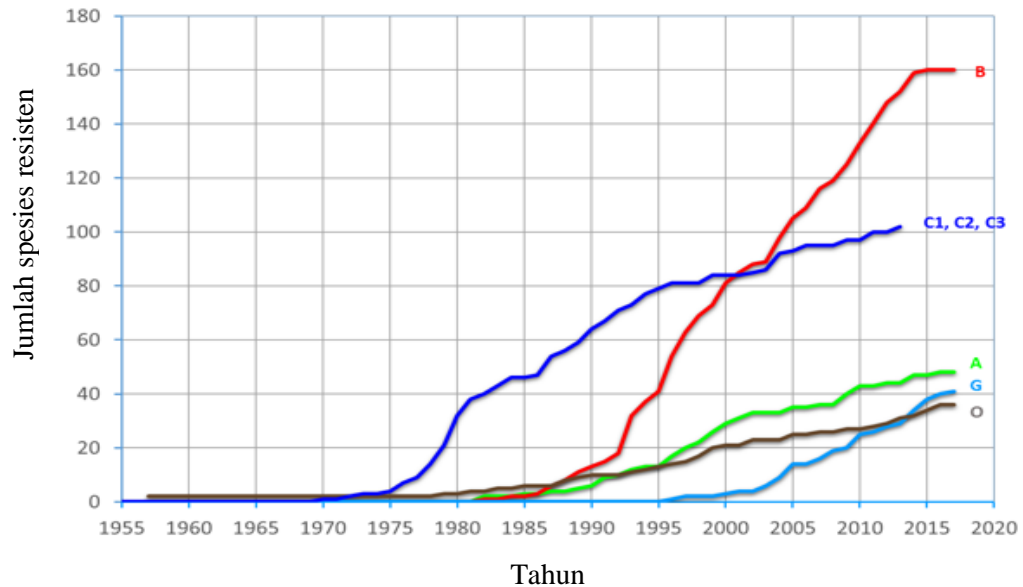
Dilaporkan oleh Heap (2019) bahwa tren resistensi gulma di dunia meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 1995 terdapat 192 biotipe gulma resisten, meningkat menjadi 269 biotipe pada tahun 2000, 337 biotipe pada tahun 2005, 402 biotipe pada tahun 2010, 481 biotipe pada tahun 2015, 494 biotipe pada tahun 2017, kemudian meningkat menjadi 498 biotipe pada tahun 2018 (Gambar 3).



Gambar 3. Perkembangan kasus resistensi di dunia (Heap, 2019).

Khusus untuk jumlah spesies gulma yang resisten terhadap herbisida diuron dan bromasil (*PSII inhibitors*) yaitu 11 pada tahun 1990, menjadi 18 pada tahun 1995, menjadi 20 pada tahun 2000, meningkat terus menjadi 29 pada tahun 2017. Sementara itu jumlah spesies gulma yang resisten terhadap herbisida glifosat (*EPSP inhibitors*) juga dilaporkan meningkat. Pada tahun 1990-1995 belum ada

laporan tentang resistensi gulma terhadap glifosat, tetapi dilaporkan ada 3 pada tahun 2000, 14 pada tahun 2005, 25 pada tahun 2010, terus meningkat menjadi 38 pada 2015, 41 spesies pada tahun 2017, dan meningkat menjadi 43 spesies gulma yang dilaporkan resisten (Gambar 4).



Gambar 4. Perkembangan jumlah spesies gulma yang resisten berdasarkan mekanisme kerja herbisida (Heap, 2019).

Keterangan :

- | | |
|--|---|
| — ACCase inhibitor (A) | — ALS inhibitors (B) |
| — Synthetic Auxins (O) | — PS II inhibitors (C1, C2, C3) |
| — EPSP synthase inhibitors (G) | |

2.6 Studi Pendahuluan Resistensi Gulma dan Hasil yang Sudah Dicapai

Dilaporkan oleh Dumont *et al.* (2016) bahwa analisis biologi molekuler membuktikan bahwa mekanisme resistensi herbisida linuron pada *Amaranthus powellii* terjadi melalui substitusi antara valin dan isoleusin pada posisi 219 dari protein D1. Substitusi kedua asam amino pada *gen PSBA* kemungkinan besar adalah penyebab resistensi *A. powellii* terhadap linuron dan inhibitor photosystem II (PS II) lainnya.

Dilaporkan oleh Hendarto (2017) dan Manurung (2018) bahwa telah terjadi resistensi pada gulma *D. aegyptium* asal perkebunan nanas di Lampung Tengah terhadap herbisida diuron. Mekanisme resistensi *D. aegyptium* seperti yang dilaporkan oleh Hendarto (2017) dan Manurung (2018) kemungkinan juga tidak berbeda dengan mekanisme resistensi *A. powellii* terhadap linuron. Hal tersebut dikarenakan diuron dan linuron merupakan herbisida dari kelompok yang sama yaitu urea dengan mekanisme kerja menghambat PS II. Menurut Brusslan and Haselkorn (1989) diuron mengikat protein D1 pada pusat reaksi PS II. Pengikatan protein tersebut mencegah transfer elektron dari PQA menuju PQB yang diperlukan untuk mendorong sintesis ATP.

Hasil penelitian Bracamonte *et al.* (2017) menunjukkan bahwa populasi *Chloris elata* di perkebunan jeruk terbukti resisten terhadap glifosat. Populasi gulma resisten memperlihatkan aktivitas enzim EPSP-ase menjadi 27,3 kali lipat lebih besar dibandingkan dengan populasi yang rentan. Hal tersebut diakibatkan oleh substitusi asam amino prolin dan serin di posisi 106 yang ditemukan pada *gen EPSP*. Kejadian tersebut adalah kasus resistensi herbisida pertama di Kuba.

Peningkatan aktivitas enzim EPSP-ase pada gulma resisten mengindikasikan terjadinya amplifikasi gen. Hasil penelitian Khort (2017) menunjukkan bahwa terjadi amplifikasi gen yang menyandi EPSP-ase pada biotipe *Amaranthus palmeri* resisten. Peningkatan jumlah gen EPSP pada biotipe resisten terjadi hingga 50 kali lipat dari biotipe gulma rentan.

Amplifikasi *gen EPSP* bersinergi dengan peningkatan aktivitas enzim EPSP-ase dan penurunan akumulasi shikimat. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian Wiersma *et al.* (2015) yang menunjukkan bahwa pada gulma *Kochia scoparia*

resisten, terjadi peningkatan jumlah *gen EPSP* 3–10 kali lebih banyak dibandingkan dengan gulma *K. scoparia* yang rentan. Pada gulma *K. scoparia* yang resisten terhadap glifosat, akumulasi shikimat sangat rendah dan protein yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan *K. scoparia* rentan.

Hasil penelitian Salas (2012) menunjukkan terjadinya resistensi gulma *Lolium prene* spp. Multiflorum Des03. Biotipe *L. prene* yang tergolong resistensi tingkat sedang mengalami resistensi 7-9 kali lipat dibandingkan dengan rata-rata GR_{50} (*Growth Reduction*) tanaman rentan, dan *L. prene* yang tergolong resistensi tingkat tinggi menunjukkan 12 hingga 13 kali lipat resistensi terhadap glifosat. Akibatnya, terjadi peningkatan jumlah kopi *gen EPSP* yang berkorelasi dengan aktivitas enzim EPSP-ase. Peningkatan jumlah EPSP per unit protein pada biotipe resisten melemahkan pengaruh herbisida, sehingga tidak mampu menghambat jalur shikimat.

Dilaporkan juga oleh Bracamonte *et al.* (2018) bahwa populasi gulma *Choris barbata* asal perkebunan jeruk nipis, Colima State, Mexico yang rentan (S1 dan S2) serta populasi resisten (R1 dan R2) tidak mengalami perbedaan dalam penyerapan glifosat. Namun, pada populasi gulma resisten translokasi setidaknya kurang dari 12%, sedangkan translokasi glifosat pada gulma rentan jauh lebih tinggi. Pada populasi resisten terjadi mutasi prolin dan serin di posisi 106 yang menyebabkan peningkatan kerja enzim EPSP-ase masing-masing 12 dan 14,7 kali lebih tinggi pada R1 dan R2.

Hasil penelitian Elfandari (2017) menunjukkan bahwa gulma *A. gangetica*, *C. kyllingia*, dan *E. indica* pada pertanaman kelapa sawit di Lampung Selatan resisten terhadap herbisida glifosat. Hal tersebut serupa dengan Anjani (2018)

yang menyatakan bahwa gulma *E. indica* asal perkebunan kelapa sawit di Lampung Tengah mengalami resistensi terhadap glifosat. Mekanisme resistensi ketiga gulma tersebut diduga tidak berbeda dengan mekanisme resistensi *E. indica* yang dilaporkan oleh Ng *et al.* (2003) dan *Conyza sumatrensis* yang dilaporkan oleh Amaro-Blanco *et al.* (2018).

2.7 Herbisida dan Aktivitas Fisiologi Tumbuhan

Evaluasi parameter fotosintesis pada tumbuhan yang tahan herbisida memungkinkan untuk memverifikasi perubahan yang terjadi dalam metabolisme fotosintesis, salah satunya adalah konduktansi stomata (Silva *et al.*, 2017). Konduktansi stomata tersebut selanjutnya dipahami sebagai mekanisme fisiologi untuk mengontrol transpirasi (Messinger *et al.*, 2006), yang berperan dalam penyerapan air, nutrisi dan regulasi suhu daun.

Menurut Dusenge *et al.* (2019) CO₂ secara langsung mempengaruhi metabolisme tanaman yang sangat penting peranannya dalam fotosintesis, sehingga peningkatan CO₂ diperkirakan akan meningkatkan laju fotosintesis. Tcherkez and Limami (2019) menyatakan bahwa pengukuran pertukaran gas sangat penting untuk mengetahui fotosintesis pada daun, termasuk asimilasi CO₂, konduktansi stomata, dan transpirasi atau efisiensi penggunaan air.

Menurut Lu *et al.* (2019), gulma yang resisten mengalami peningkatan dalam metabolisme herbisida. Akibatnya tingkat translokasi herbisida menjadi lebih rendah, sehingga terjadinya keracunan dapat dicegah. Dilaporkan oleh Lu *et al.* (2019) bahwa peningkatan metabolisme herbisida metribuzin (golongan

penghambat PS II) dan mutasi gen *psbA* sangat berkontribusi dalam resistensi metribuzin pada lobak liar (*Raphanus raphanistrum*).

Herbisida diuron memblokir jalur elektron pada PS II, sehingga pembentukan NADPH dan ATP terganggu (Fuerst and Norman, 1991). NADPH dan ATP tersebut diperlukan untuk memfiksasi CO₂. Aliran elektron yang rendah menyebabkan stress oksidatif dan oksidasi klorofil (Streit *et al.*, 2005).

Proses fisiologis tumbuhan setelah diaplikasikan glifosat yang pertama kali terjadi adalah akumulasi shikimat akibat penghambatan kerja enzim EPSP-ase, yang mengakibatkan sintesis protein dan asam amino aromatik terhambat. Proses ini berkembang secara bertahap. Akibat dari penghambatan asam amino tersebut, maka terjadilah penurunan laju fotosintesis pada daun yang telah diapikasi glifosat. Penurunan laju fotosintesis tersebut dapat terjadi secara cepat dalam hitungan jam atau bertahap selama beberapa hari atau minggu. Penurunan laju fotosintesis tersebut menurunkan level RuBP, laju asimilasi karbon, konduktansi stomata, dan kemampuan tumbuhan dalam mengambil air dari tanah (Boger *et al.*, 2002).

Menurut Davies and Flore (1986) bahwa stomata berperan sebagai alat lalu lintas gas (CO₂ dan H₂O) dari luar ke dalam tanaman. Artinya, proses metabolisme berjalan seiring dengan tingkat buka-tutup stomata. Apabila metabolisme terhambat maka konduktansi stomata akan menurun bahkan terhenti. Bhatla (2018) menyatakan bahwa hilangnya turgiditas pada sel penjaga menyebabkan penutupan stomata, akibatnya transpirasi terhambat.

Dilaporkan oleh Cardinali *et al.* (2015) bahwa tidak terdapat perbedaan persentase penyerapan herbisida glifosat pada daun gulma *Conyza bonariensis* biotipe resisten dan sensitif. Namun, terjadi penurunan translokasi glifosat pada biotipe resisten. Hal tersebut terjadi karena perubahan transport protein pada kloroplas dan keterlibatan transporter pada membran plasma.

Menurut Bajwa *et al.* (2019) peningkatan CO₂ dapat menjadi sebab rendahnya persentase keracunan akibat herbisida. Peningkatan CO₂ menunjukkan dapat diperlambatnya translokasi herbisida glifosat. Radwan and Fayed (2016) melaporkan bahwa aplikasi glifosat pada daun *Arachis hypogaea* menyebabkan stress oksidatif dan menunjukkan efek negatif pada fotosintesis dan pertukaran gas melalui stomata. Selain itu dilaporkan juga bahwa glifosat menyebabkan berbagai gejala morfologi, seperti klorosis, daun menguning dan mengeriting pada dosis tinggi. Pada tanaman yang sensitif gejala keracunan lebih parah. Glifosat menurunkan laju fotosintesis dan mengurangi pigmen, protein serta asam amino.

Dilaporkan oleh (Radwan and Fayed (2016) bahwa aplikasi glifosat menyebabkan stres oksidatif yang menyebabkan efek negatif pada fotosintesis dan pertukaran gas. Bigot *et al.* (2007) melaporkan bahwa aplikasi herbisida pada tanaman yang sensitif atau rentan menyebabkan penutupan stomata dan penurunan transpirasi yang berdampak pada penurunan hasil asimilasi. Hal tersebut menunjukkan perubahan metabolisme energi setelah terjadi stres akibat herbisida.

Menurut Figueiredo *et al.* (2018) tidak ada perbedaan penyerapan herbisida 2,4-D antara gulma *Amaranthus tuberculatus* yang resisten dan rentan (sensitif). Namun, gulma resisten mampu memetabolisme herbisida lebih cepat dibandingkan gulma yang sensitif. Hal tersebut menyebabkan perbedaan waktu

yang dibutuhkan herbisida untuk meracuni gulma resisten dan rentan.

Peningkatan metabolisme menyebabkan translokasi herbisida menurun, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk meracuni gulma resisten lebih lama dibandingkan gulma yang sensitif. *A. tuberculatus* sensitif memiliki waktu paruh 2,4-D selama 105 jam, sedangkan pada tanaman resisten 22 jam.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2018–Maret 2019. Penelitian dilaksanakan di Rumah Plastik Perguruan Tinggi Al-Madani Kecamatan Rajabasa, Laboratorium Ilmu Gulma Fakultas Pertanian Unila, dan Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Unila.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk uji resistensi gulma terhadap herbisida (Tahap 1) adalah cangkul, sekop kecil, timbangan, gelas ukur, nampan plastik, pot plastik, oven, ember, polybag, kantong kertas, *knapsack sprayer*, nozel berwarna merah dengan lebar bidang semprot 2 meter, kertas label, alat tulis, dan kamera.

Peralatan yang digunakan dalam analisis aktivitas fisiologi (Tahap 2) adalah Li-cor 6800 F (*Portable Photosynthesis System*).

Bahan yang digunakan pada Tahap 1 adalah bibit gulma yang diduga resisten terhadap herbisida diuron: *Dactyloctenium aegyptium*, *Eleusine indica* (gulma rumput), dan *Praxelis clematidea* (gulma berdaun lebar), bibit gulma yang diduga resisten terhadap herbisida glifosat: *Aystasia gangetica* (gulma berdaun lebar) dan *E.indica*, (gulma rumput), bibit setiap jenis gulma yang belum pernah terpapar

herbisida, herbisida berbahan aktif diuron dengan merk dagang Karmex 80 WP dan herbisida berbahan aktif glifosat dengan merk dagang Grand Up 480 SL.

Bahan yang digunakan untuk Tahap 2 adalah gulma yang terbukti resisten hasil dari penelitian Tahap 1 di rumah kaca, herbisida Karmex 80 WP dan Grand Up 480 SL.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian terdiri dari dua tahap percobaan, yaitu Tahap 1: Uji Resistensi Gulma dan Tahap 2: Uji Aktivitas Fisiologi Pada Gulma Resisten. Penelitian ini menggunakan Rancangan Petak Terbagi (*Split Plot Design*) dengan enam ulangan pada Tahap 1 dan tiga ulangan pada Tahap 2. Rancangan perlakuan diterapkan secara terpisah untuk masing-masing gulma dan herbisida. Dengan demikian ada 5 percobaan terpisah.

Penelitian terdiri dari dua faktor (petak utama dan anakan petak). Petak utama adalah dua tempat asal gulma (A), yaitu A₁ (gulma terpapar diuron dan glifosat) dan A₂ (gulma tidak terpapar diuron dan glifosat). Anak petak adalah dosis herbisida (D) berdasarkan dosis anjuran yang digunakan dan terdiri dari lima taraf untuk diuron dan enam taraf untuk glifosat. Dosis anjuran herbisida diuron adalah 1.200 g b.a.ha⁻¹ dan glifosat 960 g b.a.ha⁻¹. Taraf dosis bahan aktif herbisida diuron pada Tahap 1 yaitu 0 (D₀); 1.200 (D₁); 2.400 (D₂); 4.800 (D₃); dan 9.600 g b.a.ha⁻¹ (D₄), sedangkan untuk Tahap 2 yaitu D₀, D_{1/2} (1/2 dosis anjuran), D₁, D₂, dan D₃. Taraf dosis bahan aktif herbisida glifosat untuk Tahap 1 dan Tahap 2 yaitu 0 (D₀); 480 (D_{1/2}); 960 (D₁); 1.920 (D₂); 3.840 (D₃); dan 7.680 g b.a.ha⁻¹ (D₄). Tata letak percobaan dapat dilihat pada Gambar 5, 6, 7, 8, dan 9.

Ulangan 1		Ulangan 2		Ulangan 3	
A ₁ D ₁	A ₂ D ₀	A ₁ D ₂	A ₂ D ₃	A ₂ D ₄	A ₁ D ₁
A ₁ D ₂	A ₂ D ₄	A ₁ D ₀	A ₂ D ₂	A ₂ D ₁	A ₁ D ₀
A ₁ D ₃	A ₂ D ₂	A ₁ D ₃	A ₂ D ₀	A ₂ D ₀	A ₁ D ₄
A ₁ D ₄	A ₂ D ₁	A ₁ D ₄	A ₂ D ₁	A ₂ D ₂	A ₁ D ₃
A ₁ D ₀	A ₂ D ₃	A ₁ D ₁	A ₂ D ₄	A ₂ D ₃	A ₁ D ₂

Ulangan 4		Ulangan 5		Ulangan 6	
A ₁ D ₄	A ₂ D ₃	A ₁ D ₃	A ₂ D ₃	A ₁ D ₄	A ₂ D ₁
A ₁ D ₀	A ₂ D ₂	A ₁ D ₄	A ₂ D ₀	A ₁ D ₀	A ₂ D ₂
A ₁ D ₃	A ₂ D ₄	A ₁ D ₁	A ₂ D ₂	A ₁ D ₃	A ₂ D ₀
A ₁ D ₂	A ₂ D ₁	A ₁ D ₂	A ₂ D ₁	A ₁ D ₂	A ₂ D ₄
A ₁ D ₁	A ₂ D ₀	A ₁ D ₀	A ₂ D ₄	A ₁ D ₁	A ₂ D ₃

Gambar 5. Tata letak percobaan resistensi *Dactyloctenium aegyptium* terhadap diuron. Keterangan : gulma terpapar herbisida diuron (A₁); gulma tidak terpapar herbisida diuron (A₂); dosis 0 g/ha (D₀); 1.200 g/ha (D₁); 2.400 g/ha (D₂); 4.800 g/ha (D₃); dan 9.600 g/ha (D₄).

Ulangan 1		Ulangan 2		Ulangan 3	
A ₂ D ₀	A ₁ D ₃	A ₂ D ₀	A ₁ D ₀	A ₂ D ₃	A ₁ D ₂
A ₂ D ₂	A ₁ D ₁	A ₂ D ₃	A ₁ D ₄	A ₂ D ₁	A ₁ D ₃
A ₂ D ₄	A ₁ D ₀	A ₂ D ₂	A ₁ D ₃	A ₂ D ₂	A ₁ D ₁
A ₂ D ₁	A ₁ D ₂	A ₂ D ₁	A ₁ D ₂	A ₂ D ₀	A ₁ D ₀
A ₂ D ₃	A ₁ D ₄	A ₂ D ₄	A ₁ D ₁	A ₂ D ₄	A ₁ D ₄

Ulangan 4		Ulangan 5		Ulangan 6	
A ₂ D ₀	A ₂ D ₀	A ₁ D ₃	A ₁ D ₀	A ₁ D ₃	A ₂ D ₃
A ₂ D ₂	A ₂ D ₂	A ₁ D ₂	A ₁ D ₄	A ₁ D ₄	A ₂ D ₀
A ₂ D ₁	A ₂ D ₁	A ₁ D ₄	A ₁ D ₃	A ₁ D ₁	A ₂ D ₂
A ₂ D ₄	A ₂ D ₄	A ₁ D ₀	A ₁ D ₂	A ₁ D ₂	A ₂ D ₁
A ₂ D ₃	A ₂ D ₃	A ₁ D ₁	A ₁ D ₁	A ₁ D ₀	A ₂ D ₄

Gambar 6. Tata letak percobaan resistensi *Eleusine indica* terhadap diuron. Keterangan : gulma terpapar herbisida diuron (A₁); gulma tidak terpapar herbisida diuron (A₂); dosis 0 g/ha (D₀); 1.200 g/ha (D₁); 2.400 g/ha (D₂); 4.800 g/ha (D₃); dan 9.600 g/ha (D₄).

Ulangan 1	
A ₂ D ₀	A ₁ D ₄
A ₂ D ₂	A ₁ D ₂
A ₂ D ₄	A ₁ D ₃
A ₂ D ₁	A ₁ D ₀
A ₂ D ₃	A ₁ D ₁

Ulangan 2	
A ₂ D ₁	A ₁ D ₄
A ₂ D ₄	A ₁ D ₁
A ₂ D ₂	A ₁ D ₃
A ₂ D ₀	A ₁ D ₃
A ₂ D ₃	A ₁ D ₀

Ulangan 3	
A ₂ D ₀	A ₁ D ₃
A ₂ D ₂	A ₁ D ₄
A ₂ D ₄	A ₁ D ₁
A ₂ D ₁	A ₁ D ₀
A ₂ D ₃	A ₁ D ₂

Ulangan 4	
A ₂ D ₃	A ₁ D ₃
A ₂ D ₁	A ₁ D ₁
A ₂ D ₂	A ₁ D ₀
A ₂ D ₀	A ₁ D ₄
A ₂ D ₄	A ₁ D ₂

Ulangan 5	
A ₁ D ₀	A ₂ D ₁
A ₁ D ₁	A ₂ D ₃
A ₁ D ₃	A ₂ D ₀
A ₁ D ₂	A ₂ D ₂
A ₁ D ₄	A ₂ D ₄

Ulangan 6	
A ₂ D ₃	A ₁ D ₃
A ₂ D ₄	A ₁ D ₂
A ₂ D ₂	A ₁ D ₁
A ₂ D ₀	A ₁ D ₄
A ₂ D ₁	A ₁ D ₀

Gambar 7. Tata letak percobaan resistensi *Praxelis clematidea* terhadap diuron.

Keterangan : gulma terpapar herbisida diuron (A₁); gulma tidak terpapar herbisida diuron (A₂); dosis 0 g/ha (D₀); 1.200 g/ha (D₁); 2.400 g/ha (D₂); 4.800 g/ha (D₃); dan 9.600 g/ha (D₄).

Ulangan 1	
A ₂ D _{1/2}	A ₁ D ₀
A ₂ D ₃	A ₁ D ₃
A ₂ D ₄	A ₁ D ₁
A ₂ D ₂	A ₁ D _{1/2}
A ₂ D ₀	A ₁ D ₂
A ₂ D ₁	A ₁ D ₄

Ulangan 2	
A ₁ D ₂	A ₂ D ₁
A ₁ D ₁	A ₂ D ₀
A ₁ D ₀	A ₂ D _{1/2}
A ₁ D _{1/2}	A ₂ D ₃
A ₁ D ₄	A ₂ D ₄
A ₁ D ₃	A ₂ D ₂

Ulangan 3	
A ₂ D ₂	A ₁ D ₃
A ₂ D ₀	A ₁ D ₂
A ₂ D ₄	A ₁ D ₁
A ₂ D _{1/2}	A ₁ D ₀
A ₂ D ₃	A ₁ D ₄
A ₂ D ₁	A ₁ D _{1/2}

Ulangan 4	
A ₂ D ₁	A ₁ D ₄
A ₂ D ₃	A ₁ D ₁
A ₂ D ₄	A ₁ D ₂
A ₂ D _{1/2}	A ₁ D _{1/2}
A ₂ D ₀	A ₁ D ₀
A ₂ D ₂	A ₁ D ₃

Ulangan 5	
A ₁ D ₁	A ₂ D _{1/2}
A ₁ D ₂	A ₂ D ₄
A ₁ D ₃	A ₂ D ₂
A ₁ D ₄	A ₂ D ₁
A ₁ D _{1/2}	A ₂ D ₃
A ₁ D ₀	A ₂ D ₀

Ulangan 6	
A ₁ D ₄	A ₂ D _{1/2}
A ₁ D ₀	A ₂ D ₂
A ₁ D ₃	A ₂ D ₀
A ₁ D ₂	A ₂ D ₄
A ₁ D _{1/2}	A ₂ D ₃
A ₁ D ₁	A ₂ D ₁

Gambar 8. Tata letak percobaan resistensi *Asystasia gangetica* terhadap glifosat.

Keterangan : gulma terpapar herbisida glifosat (A₁); gulma tidak terpapar herbisida glifosat (A₂); dosis 0 g/ha (D₀); dosis 480 g/ha (D_{1/2}); 960 g/ha (D₁); 1.920 g/ha (D₂); 3.840 g/ha (D₃); dan 7.680 g/ha (D₄).

Ulangan 1		Ulangan 2		Ulangan 3	
A ₁ D ₀	A ₂ D ₁	A ₁ D ₃	A ₂ D _{1/2}	A ₂ D ₃	A ₁ D ₃
A ₁ D ₃	A ₂ D ₀	A ₁ D ₂	A ₂ D ₂	A ₂ D ₄	A ₁ D ₂
A ₁ D _{1/2}	A ₂ D _{1/2}	A ₁ D _{1/2}	A ₂ D ₄	A ₂ D ₂	A ₁ D ₁
A ₁ D ₄	A ₂ D ₃	A ₁ D ₀	A ₂ D ₁	A ₂ D ₅	A ₁ D ₅
A ₁ D ₁	A ₂ D ₄	A ₁ D ₁	A ₂ D ₀	A ₂ D ₀	A ₁ D ₄
A ₁ D ₂	A ₂ D ₂	A ₁ D ₄	A ₂ D ₃	A ₂ D ₁	A ₁ D ₀

Ulangan 4		Ulangan 5		Ulangan 6	
A ₂ D ₃	A ₁ D ₃	A ₁ D ₅	A ₂ D ₄	A ₁ D ₅	A ₂ D ₃
A ₂ D ₂	A ₁ D ₂	A ₁ D ₄	A ₂ D ₃	A ₁ D ₄	A ₂ D ₀
A ₂ D ₄	A ₁ D ₅	A ₁ D ₃	A ₂ D ₂	A ₁ D ₀	A ₂ D ₂
A ₂ D ₅	A ₁ D ₁	A ₁ D ₁	A ₂ D ₁	A ₁ D ₁	A ₂ D ₅
A ₂ D ₁	A ₁ D ₄	A ₁ D ₀	A ₂ D ₀	A ₁ D ₂	A ₂ D ₄
A ₂ D ₀	A ₁ D ₀	A ₁ D ₂	A ₂ D ₅	A ₁ D ₃	A ₂ D ₁

Gambar 9. Tata letak percobaan resistensi *Eleusine indica* terhadap glifosat.

Keterangan : gulma terpapar herbisida glifosat (A₁); gulma tidak terpapar herbisida glifosat (A₂); dosis 0 g/ha (D₀); dosis 480 g/ha (D_{1/2}); 960 g/ha (D₁); 1.920 g/ha (D₂); 3.840 g/ha (D₃); dan 7.680 g/ha (D₄).

3.4 Pelaksanaan Penelitian Tahap 1: Uji Resistensi Gulma

3.4.1. Survei Lapang

Survei lapang bertujuan untuk menentukan lokasi pengambilan gulma. Survei lokasi yang sudah lama diaplikasikan herbisida berbahan aktif diuron dan glifosat masing-masing yaitu di perkebunan nanas Lampung Tengah dan perkebunan kelapa sawit Lampung Selatan. Survei gulma yang tidak terpapar/gulma sensitif sebagai gulma pembanding terhadap gulma yang diduga resisten terhadap herbisida diuron dan glifosat masing-masing dilakukan di wilayah sekitar pekebunan nanas Lampung Tengah dan perkebunan sawit Lampung Selatan yang belum pernah diapikasi herbisida tersebut (Gambar 10). Di setiap lokasi, gulma yang diambil berupa bibit dan diupayakan harus seragam. Keseragaman gulma dapat dilihat dari jumlah daun atau tinggi gulma.



Gambar 10. Titik lokasi pengambilan gulma (a) gulma terpapar diuron, koordinat $4^{\circ}49'10.9''\text{S}$ $105^{\circ}11'31.4''\text{E}$ di Terbanggi Besar; (b) gulma tidak terpapar diuron, koordinat $4^{\circ}53'33.5''\text{S}$ $105^{\circ}12'55.2''\text{E}$ di Terbanggi Besar; (c) gulma terpapar glifosat, koordinat $5^{\circ}17'51.2''\text{S}$ $105^{\circ}10'39.2''\text{E}$ di Natar; (d) gulma tidak terpapar glifosat, koordinat $5^{\circ}17'40.4''\text{S}$ $105^{\circ}10'43.6''\text{E}$ di Natar.

3.4.2 Penanaman dan Pemeliharaan Gulma

Bibit gulma yang telah diambil dari lapang kemudian dipindah tanam pada pot plastik berisi media tanah yang telah ditambahkan pupuk kandang. Gulma untuk pengujian resistensi terhadap diuron dipelihara hingga fase vegetatif, sedangkan untuk pengujian resistensi terhadap glifosat dipelihara hingga fase generatif. Penyiraman gulma dilakukan setiap pagi dan sore hari. Selain itu, dilakukan pencabutan gulma lain yang tumbuh pada media tanam gulma yang diteliti.

3.4.3 Aplikasi Herbisida

Gulma yang telah ditanam dan dipelihara kemudian diseleksi untuk mendapatkan tingkat keseragaman yang sama. Sebelum herbisida diaplikasikan pada gulma, maka dilakukan kalibrasi terlebih dahulu. Hal ini dilakukan agar setiap satuan percobaan mendapat jumlah herbisida yang sama sesuai perlakuan. Kalibrasi dilakukan dengan metode luas menggunakan nosel merah dengan lebar bidang semprot 2 m. Penyemprotan dilakukan pada pagi hari dengan beberapa tingkatan dosis, dimulai dari dosis terendah sampai pada dosis tertinggi menggunakan *knapsack sprayer*. Gulma yang diaplikasi disusun secara acak pada lahan seluas 10 m².

3.4.4 Pengamatan Penelitian Tahap 1: Uji Resistensi Gulma

Berikut ini adalah variabel yang diamati pada Tahap 1.

a) Persen Keracunan (%)

Penentuan persen keracunan dilakukan dengan membandingkan gulma yang diaplikasikan herbisida dengan gulma tanpa perlakuan (kontrol). Perbandingan yang diamati adalah warna daun, perubahan bentuk daun, dan pertumbuhan yang tidak normal. Dari perbandingan tersebut, dapat diperoleh nilai persen keracunan gulma. Pengamatan dilakukan pada 2, 4, 6, 8, 10, 12, hingga 14 hari setelah aplikasi (HSA). Pengamatan persen keracunan dilakukan sebanyak dua ulangan (dua orang pengamat).

b) Bobot Kering Gulma (g)

Pemanenan dilakukan pada akhir pengamatan yaitu pada 14 HSA. Gulma dipanen dengan cara memotong pangkal batang gulma. Masing-masing gulma yang telah dipanen dimasukkan ke dalam amplop kertas yang telah diberi label

sesuai perlakuan. Gulma dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 48 jam hingga bobot kering gulma konstan. Selanjutnya gulma ditimbang dan dicatat bobotnya sesuai perlakuan.

3.4.5 Analisis Data Resistensi Gulma

a) Kecepatan Meracuni 50% (LT₅₀)

Kecepatan herbisida meracuni gulma diperoleh dari data persen keracunan. Data persen keracunan diolah dengan analisis probit untuk mendapatkan nilai *Lethal Time* (LT₅₀), yaitu waktu yang dibutuhkan setiap herbisida untuk meracuni gulma sebesar 50 %. Nilai LT₅₀ diperoleh melalui persamaan regresi linear sederhana, yaitu $Y = aX + b$, nilai Y merupakan nilai probit pada persen keracunan gulma dan X adalah log hari pengamatan persen keracunan. Jika nilai X telah diketahui maka LT₅₀ dapat diketahui dengan antilog nilai X tersebut (Guntoro dan Fitri, 2013).

b) Dosis Efektif 50% (ED₅₀)

ED₅₀ (*Effective Dosage* 50) merupakan nilai yang menunjukkan banyaknya dosis herbisida yang menyebabkan penekanan gulma hingga 50%. Nilai ED₅₀ diperoleh dari hasil konversi data bobot kering gulma menjadi nilai persentase kerusakan gulma. Persentase kerusakan dapat diperoleh melalui persamaan sebagai berikut:

$$\text{Persen kerusakan (\%)} = (1 - (P/K)) * 100\%$$

Keterangan : P = nilai bobot kering gulma dengan perlakuan herbisida

$$K = \text{nilai bobot kering gulma kontrol}$$

Persen kerusakan ditransformasi ke dalam nilai probit dengan bantuan tabel probit. Taraf dosis yang diuji diubah menjadi bentuk log. Dari nilai probit persen kerusakan (Y) dan log dosis (X), ditentukan persamaan regresi sederhana

$Y = ax + b$. Dari persamaan tersebut, ditentukan nilai X untuk $Y = 5$ karena yang dicari adalah ED_{50} (nilai probit dari 50% adalah 5). Nilai X kemudian dianti log sehingga diperoleh ED_{50} gulma (Guntoro dan Fitri., 2013).

c) Nisbah Resistensi (NR)

Nisbah Resistensi merupakan nilai dari perbandingan ED_{50} gulma terpapar dengan gulma tidak terpapar. Berdasarkan nilai NR gulma dapat diketahui status resistensi gulma yang diuji. Tingkat resistensi gulma dapat ditentukan dengan kriteria nilai NR yaitu tergolong sensitif jika $NR < 2$, resisten rendah jika $NR 2 - 6$, resisten sedang jika $NR > 6-12$, dan resisten tinggi jika $NR > 12$ (Ahmad-Hamdani *et al.*, 2012).

3.5 Pelaksanaan Penelitian Tahap 2: Uji Aktivitas Fisiologi Pada Gulma Resisten

3.5.1 Penanaman dan Pemeliharaan Gulma Resisten Berdasarkan Hasil Uji Tahap 1

Populasi gulma yang terbukti resisten pada Tahap 1 ditanam dan dipelihara sampai fase vegetatif awal untuk aplikasi diuron dan fase generatif untuk aplikasi glifosat. Penyiraman gulma dilakukan setiap pagi dan sore hari. Selain itu, dilakukan pencabutan gulma lain yang tumbuh pada media tanam gulma yang diteliti.

3.5.2 Aplikasi Herbisida

Pada Tahap 2 perlakuan diulang sebanyak 3 ulangan dengan cara, luas petak, dan rancangan percobaan yang sama dengan Tahap 1.

3.5.3 Pengamatan Aktivitas Fisiologi

Aktivitas fisiologi diamati pada 4, 8, dan 12 HSA. Gulma yang menjadi objek pengamatan aktivitas fisiologi diberi tag label kuning pada daun kedua dan ketiga yang telah membuka penuh sebagai tanda sampel daun yang akan diamati.

Pengujian aktivitas fisiologi dilakukan menggunakan Li-cor 6800 F (*Portable Photosynthesis System*) dengan variabel pengamatan laju asimilasi karbon, konduktansi stomata, dan transpirasi.

3.5.4. Analisis Data Aktivitas Fisiologi

Data hasil aktivitas fisiologi gulma resisten dan sensitif dianalisis dan dicari simpangan bakunya, kemudian dibuat kurva untuk mengetahui perbedaan sifat fisiologis antara gulma yang resisten dan sensitif.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Gulma yang terpapar diuron memerlukan waktu yang lebih lama untuk teracuni sebanyak 50% dengan nilai LT_{50} (*Median Lethal Time*) atau kecepatan meracuni pada dosis 4.800 g/ha gulma *D. aegyptium*, *E. indica*, dan *P. clematidea* berturut-turut 44,53; 17,70; 5,93 hari, sedangkan gulma tidak terpapar berturut-turut 4,70; 9,81; 5,25 hari.
2. Gulma yang terpapar glifosat memerlukan waktu yang lebih lama untuk teracuni sebanyak 50% dengan nilai LT_{50} pada dosis 1.920 g/ha gulma *A. gangetica* dan *E. indica* berturut-turut 14,85 dan 29,98 hari, sedangkan gulma tidak terpapar berturut-turut 8,54 dan 6,42 hari.
3. Nilai Nisbah Resistensi (NR) *D. aegyptium* terpapar diuron adalah 16,70 dan tergolong resistensi tinggi, sedangkan NR *E. indica*, dan *P. clematidea* masing-masing 1,43; dan 1,74 yang menunjukkan belum adanya resistensi.
4. Nilai NR gulma *A. gangetica* dan *E. indica* terpapar glifosat masing-masing adalah 2,87 dan 2,32, sehingga tergolong resistensi rendah.
5. Aktivitas fisiologi (laju asimilasi karbon, konduktansi stomata, dan transpirasi) *D. aegyptium* yang mengalami resistensi tinggi terhadap diuron lebih tinggi dibandingkan *D. aegyptium* yang sensitif.

6. Aktivitas fisiologi *A. gangetica* dan *E. indica* yang mengalami resistensi rendah terhadap glifosat cenderung tidak berbeda dengan *A. gangetica* dan *E. indica* yang sensitif.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini yaitu:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut berbasis molekuler untuk mendeteksi keberadaan gen toleran herbisida pada gulma.
2. Dilakukan pengujian resistensi dengan metode yang lebih spesifik dengan *mode of action* herbisida untuk lebih memastikan mekanisme resistensi yang terjadi pada gulma.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustanti, V.M.F. 2006. Studi Keefektivan Herbisida Diuron dan Ametrin Untuk Mengendalikan Gulma Pada Pertanian Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Lahan Kering. *Skripsi*. Fakultas Petanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ahmad-Hamdani, M.S., M. J. Owen, Qin Yu, and S. B. Powles. 2012. ACCase Inhibiting Herbicide-Resistant *Avena* spp. Populations from the Western Australian Grain Belt. *Weed Technology*. 26:130–136.
- Anjani, N.D. 2018. Resistensi Gulma Rumput *Axonopus compressus*, *Eleusine indica*, dan *Ottochloa nodosa* Asal Perkebunan Kelapa Sawit Lampung Selatan terhadap Glifosat. *Skripsi*. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung.
- Amaro-Blanco, I., P.T. Fernández-Moreno, M.D. Osuna-Ruiz, F. Bastida, and R. De Pardo. 2018. Mechanisms of Glyphosate Resistance and Response to Alternative Herbicide-Based Management in Populations of The Three *Coryza* Species Introduced In Southern Spain. *Pest Management Science*. 1–39.
- Bai, S., W. Liu, H. Wang, N. Zhou, S. Jia, N. Zou, W. Guo, and J. Wang. 2018. Enhanced Herbicide Metabolism and Metabolic Resistance Genes Identified in Tribenuron-Methyl Resistant *Myosoton aquaticum* L. *J. Agric. Food Chem*. 66:9850–9857.
- Bajwa, A.A., H. Wang, B.S. Chauhan, and S.W. Adkins. 2019. Effect of Elevated Carbon Dioxide Concentration on Growth, Productivity, and Glyphosate Response of Parthenium Weeds (*Parthenium hysterophorus* L.). *Pest Manag Sci*.
- Baylis, A.D. 2000. Why Glyphosate is a Global Herbicide: Strengths, Weaknesses, and Prospects. *Pest Manag Sci*. 56:299–308.
- Bhatla, S.C. 2018. *Plant Physiology in Agriculture and Biotechnology*. Springer Nature. Singapore. 1167–1188 hlm.

- Bigot, A., F. Fontaine, C. Clement, and N. Vaillant-Gaveau. Effect of The Herbicide Flumioxazin on Photosynthetic Performance of Grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Chemosphere*. 67:1234–1251.
- Boger, P., K. Wakabayashi, and K. Hirai. 2002. *Herbicide Classes in Development: Mode of Action, Targets, Genetic Engineering, Chemistry*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York. 373 hlm.
- Boutin, C., B. Strandberg, D. Carpenter, S.K. Mathiassen, and P.J. Thomas. 2014. Herbicide Impact on Non-Target Plant Reproductions: What Are The Toxicological and Ecological Implications. *Environmental Pollution*. 185:295–306.
- Bracamonte E.R., P.T. Fernandez-Moreno, F. Bastida, M.D. Osuna, R. Alcantara-de la Cruz, H.E. Cruz-Hipolito, and R. De Pardo. 2017. Identifying *Chloris* Species from Cuban Citrus Orchards and Derermining Their Glyphosate-Resistance Status. *Frontiers in Plant Science*. 8(1977):1–11.
- Bracamonte E., H.M. da Silveira, R. Alcantara-de la Cruz, J.A. Dominiguez-Valenzuela, H.E. Cruz-Hipolito, and R. de Prado. 2018. From Tolerance to Resistance: Mechanisms Governing the Differential Response to Glyphosate in *Chloris barbata*. *Pest Manag Sci*. 1–25.
- Brusslan, J and Haselkorn, R. 1989. Resistance to the Photosystem II Herbicide Diuron is Dominant to Sensitivity in the cyanobacterium *Synechoccus* sp. PCC7942. *The EMBO Journal*. 8(4):1237–1245.
- Cardinali, V.C.B., A.C.R. Dias, T.C. Mueller, L. Abercrombie, JR.C.N. Stewart, V.L. Tornisielo, and P.J. Christoffoleti. 2015. Shikimate Accumulation, Glyphosate Absorption and Translocation in Horseweed Biotypes. *Planta Daninha, Viçosa-MG*. 33(1):109–118.
- Chhokar, R. 2014. *Status of Herbicide Resistance in India*. <http://www.weedscience.org/Summary/Country.aspx>. [23 April 2018].
- CropLife Australia. 2008. *Herbicide Resistance Mode of Action Groups*. Grains Research & Development Corporation. Australia. 6 hlm.
- Cruz-Hipolito, H., A. Rajano-Delgado, J.A. Dominguez-Valenzuela, A. Heredia, M.D.L. de Castro, and R. D. Prado. 2011. Glyphosate Tolerance by *Clitoria Ternatea* and *Neonotonia Wightii* Plants Involves Differential Absorption and Translocation of The Herbicide. *Plant Soil*. 347:221–230.
- Das, V.S.R. and M. Santakumari. 1975. Stomatal Behaviour Four Classes of Herbicides as A Basis of Selectivity to Certain Weeds and Crop Plants. *Proc. Indian Acad. Sci*. 82(3):108–116.

- Dayan, F.E., Owens, D.K., Corniani, N., Silva, F.M.L., Watson, S.B., Howell, J.L., and Shaner, D.L. 2015. Biochemical Markers and Enzyme Assays for Herbicide Mode of Action and Resistance Studies. *Weed Science*. 63(1):23–63.
- Davies, F.S. and J.A. Flore. 1986. Flooding, Gas Exchange and Hydraulic Root Conductivity of Highbush Blueberry. *Physiol. Plant*. 67:545–551.
- De Castro Grossi Brunharo, C. A., S. Morran, K. Martin, M.L. Moretti, and B.D. Hanson. 2018. EPSPS Duplication and Mutation Involved in Glyphosate Resistance in The Allotetraploid Weed Species *Poa Annua* L. *Pest Manag Sci*. 75(6):1–31.
- Direktorat Pupuk dan Pestisida. 2016. *Pestisida Pertanian dan Kehutanan*. Kementerian Pertanian. 1096 hlm.
- Duke, S.O. 2018. The History and Current Status of Glyphosate. *Pest Manag Sci*. 74:1027–1034.
- Duke, S.O. dan S.B. Powles. 2008. Glyphosate: A Once in A Century Herbicide. *Pest Management Science*. 64:319–325.
- Dumont, M., J. Letarte, and F.J. Tardif. 2016. Identification of a *psbA* mutation (valine219 to isoleucine) in Powell Amaranth (*Amaranthus powellii*) conferring resistance to linuron. *Weed science*. 64(1):6–11.
- Dusenge, M.E., A.G. Duarte, and D. A. Way. 2019. Plant Carbon Metabolism and Climate Change: Elevated CO₂ and Temperature Impacts on Photosynthesis, Photorespiration and Respiration. *New Phytologist*. 221:32–49.
- Elfandari, H. 2017. Uji Resistensi Gulma *Asystasia gangetica*, *Axonopus compressus*, *Cyperus kyllingia* dan *Eleusine indica* Asal Perkebunan Kelapa Sawit Lampung Selatan terhadap Herbisida Glifosat. *Tesis*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
- Elmore, C.D. and R.N. Paul. 1983. Composite List of C₄ Weeds. *Weed Science*. 31:686–692.
- FAO. 2016. *FAO Specifications and Evaluations for Agricultural Pesticides*. Food and Agricultural Organization. 76 hlm.
- Ferrel, J.K. 2014. *The Use Paraquat for Weed Management in Oil Palm Planttation*. Papper Presented in Technical Seminar Organised by CCM Bioscience Sdn Bhd on 5th August 1995. Kuala Lumpur. 126 pp.
- Figueiredo, M. R., L.J. Leibhart, Z.J. Reicher, P.J. Tranel, S.J. Nissen, P. Westra, M. Jugalam. (2018). Metabolism of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid

- Contributes to Resistance in A Common Waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) Population. *Pest Manag Sci.* 74(10):2356–2362.
- Fuerst, E.P. and M.A. Norman. 1991. Interactions of Herbicides with Photosynthetic Electron Transpor . *Weed Science.* 39: 458–464.
- García, M.J., C. Palma-Bautista, A.M. Rojano-Delgado, E. Bracamonte, J. Portugal, R. Alcántara-de la Cruz, and R. De Prado. 2019. The Triple Amino Acid Substitution TAP-IVS in the *EPSPS* Gene Confers High Glyphosate Resistance to the Superweed *Amaranthus hybridus*. *Int. J. Mol. Sci.* 20(10):1–15.
- Georghiou, G.P. and Taylor, C.E. 1986. *Factors Influencing the Evolution of Resistance. Committee on Strategies for the Management of Pesticide Resistant Pest Populations.* National Academy Press, Washington, D.C. 157-169.
- Guntoro, D. dan T. Y. Fitri 2013. Aktivitas Herbisida Campuran Bahan Aktif Cyhalofop – Butyl dan Penoxulam terhadap Beberapa Jenis Gulma Padi Sawah. *Bul. Agrohorti*, 1 (1):140–148.
- Habibah, N. 2016. Pemetaan Gulma Berdasarkan Stadia Pertumbuhan Tanaman Nanas (*Ananas comosus* [L.] Merr.) di PT. Great Giant Pineapple. *Skripsi.* Fakultas Pertanian. Universitas Lampung. 58 hlm.
- Heap, I. 2014. Herbicide Resistant Weeds. *Integrated Pest Management.* 281–301.
- Heap, I. 2019. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.com/>. [24 Mei 2019].
- Hendarto, H. 2017. Resistensi Gulma *Cyperus rotundus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Asystasia gangetica* terhadap Herbisida Bromacil dan Diuron Pada Perkebunan Nanas di Lampung Tengah. *Tesis.* Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
- Hnatiuk, R.J. 1980. C₄ Photosynthesis in the Vegetation of Aldabra Atoll. *Oecologia.* 44:327–334.
- Khort, J.R., C.L. Sprague, S.S. Nadakuduti, and D. Douches. 2012. Confirmation of a Three-Way (Glyphosate, ALS, and Atrazine) Herbicide-Resistance Population of Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) in Michigan. *Weed Science.* 65(3):327–338.
- Lambers, H., T.L. Pons & F.S. Chapin. 2008. *Plant Physiological Ecology 2nd Ed.* Springer Science + Bussiness Media LLC. New York. USA. 73–75 hlm.

- Lu, H., Q. Yu, H. Han, M.J. Owen, and S. Powles. 2019. Metribuzin Resistance in A Wild Radish (*Raphanus aphanistrum*) Population Via Both psbA Gene Mutation and Enhanced Metabolism. *J. Agric. Food Chem.* 67(5):1353–1359.
- Manurung, M.S. 2018. Uji Resistensi Gulma Rerumputan *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria ciliaris* dan *Eleusine indica* Asal Perkebunan Nanas Lampung Tengah (*Ananas comosus* L.) terhadap Herbisida Diuron. *Skripsi*. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung.
- Messinger, S.M. (2006). Evidence for Involvement of Photosynthetic Processes in the Stomatal Response to CO₂. *Plant Physiology*. 12(2):771–778.
- Mohamad, R.B., W. Wibawa, M.G. Mohayidin, A.B. Puteh, A.S. Juraimi, Y. Awang, and M.B.M. Lassim. 2010. Management of Mixed Weeds in Young Oil-Palm Plantation with Selected Broad-Spectrum Herbicides. *J. Trop. Agri. Sci.* 33(2):193–203.
- Mohamed, M.S. and I.A. Seman. 2012. Occurrence of Common Weeds in Immature Plantings of Oil Palm Palntations in Malaysia. *The Planter, Kuala Lumpur*. 88(1037):537–547.
- Myers, J.P., M.N. Antoniou, B. Blumberg, L. Carrol, T. Colborn, L.G. Everett, M. Hansen, P.J. Landrigan, B.P. Lanphear, R. Mesnage, L.N. Vamdenberg, F.S. vom Saal, W.V. Welshons, and C.M. Benbrook. 2016. Concerns Over Use of Glyphosate-Based Herbicides and Risks Associated with Exposures: A Consensus Statement. *Environment Helath*. 15:19.
- Nandula, V. K., N. R. Krishna, O. D. Stephen dan H. P. Daniel. 2005. Glyphosate Resistant Weeds: Current Status and Future Outlook. *Outlooks on Pest Management (Pesticide Outlook)*. 183–187.
- Ng, C.H., R. Wickneswari, S. Saljimah, Y.T. Teng, and B.S. Ismail. 2003. Gene Polymorphism in Glyphosate-Resistant and Susceptible Biotypes of *Eleusine indica* from Malaysia. *European Weed Research Society Weed Research*. 43:108–115.
- Oerke, E.C. 2006. Centenary Review Crop Losses to Pests. *Journal of Agricultural Science*. 144:31–43.
- Palma-Bautista, C., J. Torra, M.J. García, E. Bracamonte, A.M. Rojano-Delgado, R. Alcántara-de la Cruz, and R. De Prado. 2019. Reduced Absorption and Impaired Translocation Endows Glyphosate Resistance in *Amaranthus palmeri* Harvested in GR Soybean from Argentina. *J. Agric. Food Chem.* 67(4):1052–1060.
- Picoli JR, G.J., C.A. Carbonarai, A.K.A. Matos, L.F.O.S. Rodrigues, and E.D. Velini. 2017. Influence of Glyphosate on Suceptible and Resistant Ryegrass Populations to Herbicide. *Planta Daninha*. 35:1–12.

- Powles, S.B. and D.L. Shaner. 2001. *Herbicide Resistance and World Grains*. CRC Press. Boca Raton London, New York, Washington D.C. 301 pp.
- Powles S.B. and Q. Yu. 2010. Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61:317–347.
- Radwan, D.E.M. and K.A. Fayez. 2016. Photosynthesis, Antioxidant Status and Gas-Exchange are Altered by Glyphosate Application in Peanut Leaves. *Photosynthetica*. 54(2):307–316.
- Salas, R.A., F.E. Dayan, Z. Pan, S.B. Waston, J.W. Dickson, R.C. Scott, and N.R. Burgos. 2012. EPSPS Gene Amplification in Glyphosate-Resistant Italian Ryegrass (*Lolium perenne* ssp. multiflorum) from Arkansas. *Pest Manag Sci.* 68(9):1223–1230.
- Sembodo, D. R. J. 2010. *Gulma dan Pengelolaannya*. Graha Ilmu. Yogyakarta. 168 hlm.
- Seng, C.T. and Ismail. 2010. The Status of Weed Resistance in Plantation Crops of Malaysia. *The Palnter, Kuala Lumpur*. 86(1014):615–620.
- Silva, D.R.O., L. Vargas, D. Agostinetto, and F.M. Santos. 2017. Photosynthetic Performance of Glyphosate Resistant and Glyphosate Susceptible Hairy Fleanvane Under Light Intensity. *Planta Daninha*. 35:3–8.
- Simarmata. M., M. Taufik, and Z.Z.A. Peranginangin. 2017. Efficacy Paraquat and Glyphosate Applied in Water Solvents From Different Sources to Control Weeds in Oil Palm Plantation. *Journal Agricultural and Biological ScienceI.* 12(2):58–64.
- Sriyani, N., A.T. Lubis, D.R.K. Sembodo, D. Mawardi, H.Suprpto, H. Susanto, H. Pujisiswanto, T. Adachi, dan Y. Oki. 2014. *Upland Weed Flora of Southern Sumatera*. Global Madani Pess. Bandar Lampung. 143 hlm.
- Sriyani, N. 2015. *Gulma Penting Tanaman. Materi Ajar Program Sarjana Jurusan Agroteknologi. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung.*
- Streit, N.M., L.P. Canterle, M.W. do Canto, L.H.H. Hecktheuer. The Chlorophylls. *Cienc. Rural.* 35(3):748–755.
- Sunarjono, H. H. 2008. *Berkebun 21 Jenis Tanaman Buah*. Penebar Swadaya. Jakarta. 176 hal.
- Tcherkez, G. and A.M. Limami. 2019. Net Photosynthetic CO₂ Assimilation: More Than Just CO₂ and O₂ Reduction Cycles. *New Phytologist*. 1–10.
- Wechsler, S.J., J.R. McFadden, D.J. Smith. 2017. What Do Farmers' Weed Control Decisions Imply About Glyphosate Resistance? Evidence From

Surveys of US Corn Fields. *Pest Management Science*. 74(5):1143–1154.

- Wijaya, R.B., P. Yudoyono, dan R. Rogomulyo. 2012. Uji Efikasi Herbisida Pratumbuh untuk Pengendalian Gulma Pertanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Vegetalika*. 1(3):1–9.
- Wiersma, A.T., T.A. Gaines, C. Preston, J.P. Hamilton, D. Giacomini, C.R. Buell, J.E. Leach, and P. Westra. 2015. Gene Amplification of 5-Enol-Phyruvyldhikimate-3-Phosphate Synthase in Glyphosate-Resisten *Kochia scoparia*. *Planta*. 241:463–474.
- Ziska, L.H. 2001. Changes in Competitive Ability Between a C₄ Crop and a C₃ Weed with Elevated Carbon Dioxide. *Weed Science*. 49:622–627.