

**IDENTIFIKASI RESISTENSI GULMA *Spenochlea zeylanica* DAN  
*Ludwigia octovalvis* PADA PADI SAWAH TERHADAP  
HERBISIDA 2,4-D DAN METIL METSULFURON**

**(Tesis)**

**Oleh**

**RIZKY RAHMADI**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER AGRONOMI  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2020**

## ABSTRACT

### IDENTIFICATION OF RESISTANT WEEDS (*Spenochlea zeylanica* AND *Ludwigia octovalvis*) IN PADDY FIELD TO 2,4-D AND METSULFURON-METHYL HERBICIDES

By

**RIZKY RAHMADI**

*Spenochlea zeylanica* and *Ludwigia octovalvis* weeds are dominant in Trimurjo paddy fields in Central Lampung Regency and difficult to control with 2,4-D and metsulfuron-methyl herbicide. Continuous use of herbicides with the same mechanism of action in a long time (more than 10 years) can cause weed resistance to herbicides. Weeds that are often applied by herbicides are called exposed weeds, whereas weeds that have not been applied by herbicides are called unexposed weeds. Resistant weeds can't be controlled with herbicides at recommended doses. This study aim to: (1) determine the time (LT<sub>50</sub>) of 2,4-D and metsulfuron-methyl herbicides in poisoning *S. zeylanica* and *L. octovalvis* exposed and unexposed to herbicides. (2) determine the effective doses (ED<sub>50</sub>) of 2,4-D and metsulfuron-methyl herbicide in damaging *S. zeylanica* and *L. octovalvis* exposed and unexposed. (3) determine the resistance status of *S. zeylanica* and *L. octovalvis* exposed to 2,4-D and metsulfuron-methyl herbicide. (4) determine the difference of physiological activities in resistant and sensitive weeds to 2,4-D and metsulfuron-methyl herbicide. The study was conducted in August 2019 - December 2019. The study was carried out in the Greenhouse

Botanical Garden of Sumatra Institute of Technology, Weed Science Laboratory University of Lampung, and Integrated Laboratory of the Technology Innovation Centers of Lampung University. 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 treatments and 5 replications in Stage 1 and 5 treatments and 5 replications in Stage 2. The first factor was the origin of weeds from two locations: herbicide-exposed weeds and unexposed weeds. The second factor is the dose were : 2,4-D 0; 432.5; 865; 1,730; 3,460; and 6,920 g/ha. The dose of metsulfuron-methyl were : 0; 2; 4; 8; 16; and 32 g/ha. In Stage 1 observations were made on the percentage of damage and weed dry weight. Data were analyzed with probit analysis to study  $LT_{50}$  (lethal time 50%),  $ED_{50}$  (effective dose 50%), and RR (resistance ratio). In Stage 2, physiological activities were analyzed which included carbon assimilation rate ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), stomatal conductance rate ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), and transpiration rate ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). The results are : (1) weeds exposed to 2,4-D require more time to be damaged with  $LT_{50}$  values at dose 865 g/ha: 7.97 days for *S. zeylanica* and 5.28 days for *L. octovalvis*, while unexposed weeds are 6.21 days for *S. zeylanica* and 4.29 days *L. octovalvis*. (2) weeds exposed to metsulfuron-methyl require more time to be damaged with  $LT_{50}$  values at dose 4 g/ha: 22.11 days for *S. zeylanica* and 2.86 days for *L. octovalvis*, while unexposed weeds are 5.38 days for *S. zeylanica* and 2.02 days for *L. octovalvis*. (3) *S. zeylanica* exposed to 2,4-D requires higher doses to be damaged with  $ED_{50}$  values at 313.58 g/ha, while unexposed weeds at 142.91 g/ha. *L. octovalvis* exposed to 2,4-D have the same dose value as unexposed at 84.92 g/ha. (4) weeds exposed to

metsulfuron-methyl require higher doses for to be damaged with ED<sub>50</sub> values at 5.72 g/ha for *S. zeylanica* and 3.17 g/ha for *L. octovalvis*, while unexposed weeds are 1.99 for *S. zeylanica* and *L. octovalvis*. (5) *S. zeylanica* exposed to 2,4-D and metsulfuron-methyl herbicide had low resistance with resistance ratio (RR) were 2.19 and 2.87 respectively. *L. octovalvis* were still classified as sensitive to 2,4-D and metsulfuron-methyl herbicide with resistance ratio (RR) was 1.00 and 1.59 respectively. (6) The physiological activities (carbon assimilation rate, stomatal conductance rate, and transpiration rate) *S. zeylanica* resistant to 2,4-D and metsulfuron-methyl herbicide is higher than *S. zeylanica* sensitive to 2,4-D and metsulfuron-methyl herbicide.

**Keywords:** 2,4-D, metsulfuron-methyl, weeds, herbicide, resistance, physiological activity.

## **ABSTRAK**

### **IDENTIFIKASI RESISTENSI GULMA *Spenochlea zeylanica* DAN *Ludwigia octovalvis* PADA PADI SAWAH TERHADAP HERBISIDA 2,4-D DAN METIL METSULFURON**

Oleh

**RIZKY RAHMADI**

Gulma *Spenochlea zeylanica* dan *Ludwigia octovalvis* merupakan gulma yang cukup dominan pada pertanaman padi sawah di Kecamatan Trimurjo Kabupaten Lampung Tengah dan sulit dikendalikan dengan herbisida berbahan aktif 2,4-D maupun metil metsulfuron. Penggunaan herbisida yang memiliki mekanisme kerja yang sama secara intensif dalam jangka waktu yang lama (lebih dari 10 tahun) dapat menimbulkan resistensi gulma terhadap herbisida. Gulma yang sering diaplikasikan herbisida disebut gulma terpapar, sedangkan gulma yang belum pernah diaplikasikan herbisida disebut gulma tidak terpapar. Gulma resisten adalah gulma yang tidak dapat dikendalikan dengan herbisida pada dosis rekomendasi. Tujuan Penelitian ini yaitu : (1) mengetahui waktu teracuni (LT<sub>50</sub>) herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron dalam meracuni gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* yang terpapar dan tidak terpapar herbisida. (2) mengetahui nilai dosis efektif (ED<sub>50</sub>) untuk meracuni gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* yang terpapar dan tidak terpapar herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron. (3) mengetahui status resistensi gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* yang terpapar herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron. (4) mengetahui perbedaan aktivitas fisiologi pada gulma

resisten dan sensitif terhadap herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron. Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2019 – Desember 2019. Penelitian dilaksanakan di Rumah Kaca Kebun Raya Institut Teknologi Sumatera, Laboratorium Ilmu Gulma Fakultas Pertanian Universitas Lampung, dan Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Penelitian terdiri dari dua tahap, yaitu Tahap 1: identifikasi resistensi gulma dan Tahap 2: uji aktivitas fisiologi pada gulma resisten. Penelitian menggunakan rancangan petak terbagi (*split plot design*) dengan 6 perlakuan dan 5 ulangan pada Tahap 1 dan 5 perlakuan dan 5 ulangan pada Tahap 2. Faktor pertama adalah asal gulma yang berasal dari dua lokasi: gulma terpapar dan gulma tidak terpapar herbisida. Faktor kedua adalah dosis herbisida. Dosis herbisida 2,4-D yaitu 0 ; 432,5; 865; 1.730; 3.460; dan 6.920 g/ha. Dosis herbisida metil metsulfuron yaitu 0; 2; 4; 8; 16; dan 32 g/ha. Pada Tahap 1 pengamatan dilakukan terhadap persentase keracunan dan bobot kering gulma. Data hasil pengamatan dianalisis probit untuk mengetahui  $LT_{50}$  (waktu meracuni),  $ED_{50}$  (dosis efektif), dan NR (nisbah resistensi). Pada Tahap 2 dianalisis aktivitas fisiologi yang meliputi laju asimilasi karbon ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), laju konduktansi stomata ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), dan laju transpirasi ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa : (1) gulma yang terpapar 2,4-D memerlukan waktu yang lebih lama untuk teracuni sebanyak 50% dengan nilai  $LT_{50}$  atau kecepatan meracuni pada dosis 865 g/ha gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* berturut-turut 7,97 dan 5,28 hari, sedangkan gulma tidak terpapar berturut-turut 6,21 dan 4,29 hari. (2) gulma yang terpapar metil metsulfuron memerlukan waktu yang lebih lama untuk teracuni sebanyak 50% dengan nilai  $LT_{50}$  pada dosis 4 g/ha gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis*

berturut-turut 22,11 dan 2,86 hari, sedangkan gulma tidak terpapar berturut-turut 5,38 dan 2,02 hari. (3) gulma *S. zeylanica* terpapar 2,4-D memerlukan dosis yang lebih tinggi untuk penekanan gulma sebesar 50% dengan nilai ED<sub>50</sub> sebesar 313,58 g/ha, sedangkan gulma tidak terpapar sebesar 142,91 g/ha. Gulma *L. octovalvis* terpapar 2,4-D memiliki nilai ED<sub>50</sub> yang sama dengan *L. octovalvis* tidak terpapar 2,4-D sebesar 84,92 g/ha. (4) gulma yang terpapar metil metsulfuron memerlukan dosis yang lebih tinggi untuk penekanan gulma sebesar 50% dengan nilai ED<sub>50</sub> gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* berturut-turut 5,72 dan 3,17 g/ha, sedangkan gulma tidak terpapar berturut-turut 1,99 dan 1,99 g/ha. (5) gulma *S. zeylanica* terpapar telah mengalami resistensi rendah terhadap herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron dengan nilai nisbah resistensi (NR) masing-masing 2,19 dan 2,87. Gulma *L. octovalvis* terpapar masih tergolong sensitif terhadap herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron dengan nilai nisbah resistensi (NR) masing-masing 1,00 dan 1,59. (6) aktivitas fisiologi (laju asimilasi karbon, konduktansi stomata, dan transpirasi) *S. zeylanica* resisten herbisida 2,4-D ataupun metil metsulfuron lebih tinggi dibandingkan *S. zeylanica* yang sensitif herbisida 2,4-D ataupun metil metsulfuron.

**Kata kunci** : 2,4-D, metil metsulfuron, gulma, herbisida, resistensi, aktivitas fisiologi.

**IDENTIFIKASI RESISTENSI GULMA *Spenochlea zeylanica* DAN  
*Ludwigia octovalvis* PADA PADI SAWAH TERHADAP  
HERBISIDA 2,4-D DAN METIL METSULFURON**

Oleh

**RIZKY RAHMADI**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**MAGISTER PERTANIAN**

Pada

Program Studi Pascasarjana Magister Agronomi  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER AGRONOMI  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2020**



**Judul Tesis** : **IDENTIFIKASI RESISTENSI GULMA**  
***Spenochlea zeylanica* DAN *Ludwigia***  
***octovalvis* PADA PADI SAWAH**  
**TERHADAP HERBISIDA 2,4-D DAN**  
**METIL METSULFURON**

**Nama Mahasiswa** : **Rizky Rahmadi**

**Nomor Pokok Mahasiswa** : **1824011005**

**Program Studi** : **Magister Agronomi**

**Fakultas** : **Pertanian**

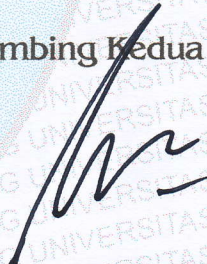
**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

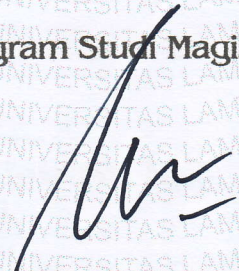
**Pembimbing Utama**

**Pembimbing Kedua**

  
**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**

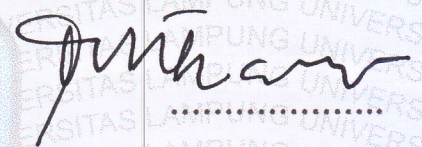
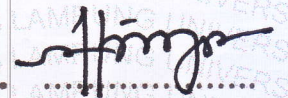
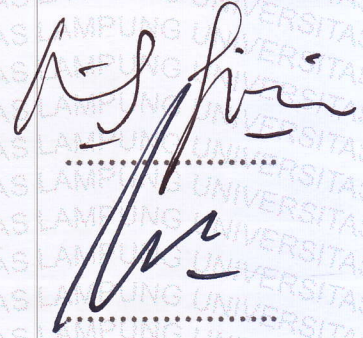
**1. Tim Penguji**

**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. Dwi Hapsoro, M.Sc.**



**2. Dekan Fakultas Pertanian**

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

**3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung**

**Prof. Dr. Ir. Wan Abbas Zakaria, M.S.**  
NIP 196108261987021001

**Tanggal Lulus Ujian Tesis : 17 Juni 2020**



## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Tesis dengan judul **“IDENTIFIKASI RESISTENSI GULMA *Spenochlea zeylanica* DAN *Ludwigia octovalvis* PADA PADI SAWAH TERHADAP HERBISIDA 2,4-D DAN METIL METSULFURON”** 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 ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 17 Juni 2020  
Pembuat pernyataan,



Rizky Rahmadi  
NPM 1824011005

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Tanjungkarang pada 17 Januari 1997, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara pasangan Bapak H. Sabli Nazar, S.H., M.H. dan Ibu Hj. Amia Nurmiasih. Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-kanak (TK) Widya Karya pada tahun 2001 dan diselesaikan pada tahun 2002. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SD Negeri 1 Sukabumi Indah dan diselesaikan pada tahun 2008. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 1 Bandar Lampung dan selesai pada tahun 2011, lalu melanjutkan pendidikan ke SMA Negeri 12 Bandar Lampung dan selesai pada tahun 2014.

Pada tahun 2014, penulis diterima sebagai Mahasiswa Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan berhasil mendapatkan gelar Sarjana Pertanian pada 25 Juli 2018. Pada tahun 2018 penulis melanjutkan studi Pascasarjana Magister Agronomi di Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Saat ini penulis bekerja sebagai Staf di UPT Konservasi Flora Sumatera Institut Teknologi Sumatera (ITERA).

*Dengan rasa syukur kepada Allah SWT*

*Kupersembahkan karya kecilku ini*

*Kepada:*

*Orang Tua tercinta yang selalu memberikan kasih sayang, doa, motivasi,  
dan dukungan. Kakak dan adikku yang selalu mendukung apa yang  
kulakukan.*

*Orang terdekat yang selalu memberi dukungan, keluarga besar, sahabat,  
teman seperjuangan yang selalu menghibur dan memberi semangat.*

*Serta Almamater yang kubanggakan*

*Universitas Lampung*

Sesungguhnya urusan-Nya apabila Dia menghendaki sesuatu  
Dia hanya berkata kepadanya, “Jadilah!” Maka Jadilah  
Sesuatu itu  
(QS. Yasiin: 82)

Usaha, Doa, dan Ridho dari Orang Tua adalah kunci  
kesuksesan  
(Rizky Rahmadi)

## SANWACANA

Alhamdulillah, puji dan syukur kehadiran Allah SWT berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tesis yang berjudul **“IDENTIFIKASI RESISTENSI GULMA *Spenochlea zeylanica* DAN *Ludwigia octovalvis* PADA PADI SAWAH TERHADAP HERBISIDA 2,4-D DAN METIL METSULFURON”** Penulis menyadari bahwa sulit untuk menyelesaikan tesis ini tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Wan Abbas Zakaria, M.S. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
4. 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.
5. Ibu Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc., selaku dosen Pembimbing Kedua dan Ketua Program Studi Pascasarjana Magister Agronomi atas waktu, kesabaran, bimbingan, nasehat dan pengarahan yang telah diberikan kepada penulis selama penelitian dan penyusunan tesis.

6. Bapak Dr. Hidayat Pujisiswanto, S.P., M.P., selaku Penguji Pertama atas kritikan, masukan, saran dan nasehat yang telah diberikan selama penulisan tesis ini.
7. Bapak Dr. Ir. Dwi Hapsoro, M.Sc., selaku Penguji Kedua dan Pembimbing Akademik atas kritikan, masukan, saran dan nasehat yang telah diberikan selama perkuliahan dan penulisan tesis ini.
8. Kedua orang tuaku tercinta, Ayahanda H. Sabli Nazar, S.H., M.H., dan Ibunda Hj. Amia Nurmiasih serta saudara tercinta kakanda Miandri Sabli Pratama, S.P., M.P. beserta istri Riza Aprianti, S.P., dan adinda Trisna Addin atas doa dan dukungan dalam bentuk motivasi serta bantuannya baik secara moril maupun materil yang diberikan selama ini.
9. Dhira Firstiana Panindra, S.Tr.Keb., selaku penyemangat penulis atas doa dan dukungan dalam bentuk moril maupun materil agar semangat menyelesaikan tesis ini.
10. Pak Pujono dan Pak Khoiri, yang telah banyak memberi saran dan pengetahuan serta bantuan selama melaksanakan penelitian.
11. Teman-teman Magister Agronomi angkatan 2017 dan 2018 atas persahabatan, doa, dukungan serta kebersamaan kepada penulis.

Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Bandar Lampung, 17 Juni 2020  
Penulis,

Rizky Rahmadi



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Kerangka Pemikiran .....	7
1.5 Hipotesis .....	11
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	12
2.1 Tanaman Padi .....	12
2.2 Gulma di Pertanaman Padi .....	14
2.3 Pengendalian Gulma di Pertanaman Padi .....	17
2.4 Batasan dan Perkembangan Resistensi Gulma .....	19
2.5 Mekanisme Resistensi Gulma .....	22
2.6 Herbisida 2,4-D .....	23
2.7 Herbisida Metil Metsulfuron .....	26
2.8 Aktivitas Fisiologi Tumbuhan .....	29

<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	31
3.2 Alat dan Bahan .....	31
3.3 Metode Penelitian .....	32
3.4 Tahap 1 : Identifikasi Resistensi .....	32
3.4.1 Pelaksanaan Penelitian .....	35
3.4.1.1 Survei Lapang .....	35
3.4.1.2 Pengambilan Sampel Gulma .....	36
3.4.1.3 Penanaman dan Pemeliharaan Gulma .....	37
3.4.1.4 Aplikasi Herbisida .....	37
3.4.2 Variabel Pengamatan .....	38
3.4.2.1 Persen Keracunan .....	38
3.4.2.2 Bobot Kering Gulma .....	39
3.4.3 Analisis Data Resistensi Gulma .....	39
3.4.3.1 Waktu Meracuni ( $LT_{50}$ ) .....	39
3.4.3.2 Dosis Efektif ( $ED_{50}$ ) .....	39
3.4.3.3 Nisbah Resistensi (NR) .....	40
3.5 Tahap 2 : Uji Aktivitas Fisiologi .....	40
3.5.1 Pengamatan Aktivitas Fisiologi .....	41
3.5.2 Analisis Data Aktivitas Fisiologi .....	41
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>42</b>
4.1 Uji Tahap 1 : Identifikasi Resistensi .....	42
4.1.1 Hasil Uji Tahap 1 : Identifikasi Resistensi Gulma	
<i>Spenochlea zeylanica</i> terhadap Herbisida 2,4-D .....	42

4.1.1.1	Persen Keracunan dan Respons <i>S. zeylanica</i> akibat Aplikasi 2,4-D .....	42
4.1.1.2	Bobot Kering dan Persen Kerusakan <i>S. zeylanica</i> akibat Aplikasi 2,4-D .....	44
4.1.1.3	Nilai LT <sub>50</sub> <i>S. zeylanica</i> akibat Aplikasi 2,4-D .....	46
4.1.1.4	Resistensi <i>S. zeylanica</i> terhadap herbisida 2,4-D ..	47
4.1.2	Hasil Uji Tahap 1 : Identifikasi Resistensi Gulma <i>Ludwigia octovalvis</i> terhadap Herbisida 2,4-D .....	48
4.1.2.1	Persen Keracunan dan Respons <i>L. octovalvis</i> akibat Aplikasi 2,4-D .....	48
4.1.2.2	Bobot Kering dan Persen Kerusakan <i>L. octovalvis</i> akibat Aplikasi 2,4-D .....	50
4.1.2.3	Nilai LT <sub>50</sub> <i>L. octovalvis</i> akibat Aplikasi 2,4-D .....	52
4.1.2.4	Resistensi <i>L. octovalvis</i> terhadap herbisida 2,4-D..	53
4.1.3	Hasil Uji Tahap 1 : Identifikasi Resistensi Gulma <i>Spenochlea zeylanica</i> terhadap Herbisida Metil Metsulfuron .....	54
4.1.3.1	Persen Keracunan dan Respons <i>S. zeylanica</i> akibat Aplikasi Metil Metsulfuron .....	54
4.1.3.2	Bobot Kering dan Persen Kerusakan <i>S. zeylanica</i> akibat Aplikasi Metil Metsulfuron .....	57
4.1.3.3	Nilai LT <sub>50</sub> <i>S. zeylanica</i> akibat Aplikasi Metil Metsulfuron .....	58

4.1.3.4 Resistensi <i>S. zeylanica</i> terhadap herbisida Metil Metsulfuron .....	59
4.1.4 Hasil Uji Tahap 1 : Identifikasi Resistensi Gulma <i>Ludwigia octovalvis</i> terhadap Herbisida Metil Metsulfuron .....	60
4.1.4.1 Persen Keracunan dan Respons <i>L. octovalvis</i> akibat Aplikasi Metil Metsulfuron .....	60
4.1.4.2 Bobot Kering dan Persen Kerusakan <i>L. octovalvis</i> akibat Aplikasi Metil Metsulfuron .....	62
4.1.4.3 Nilai LT <sub>50</sub> <i>L. octovalvis</i> akibat Aplikasi Metil Metsulfuron .....	64
4.1.4.4 Resistensi <i>L. octovalvis</i> terhadap herbisida Metil Metsulfuron .....	65
4.2 Uji Tahap 2 : Uji Aktivitas Fisiologi .....	66
4.2.1 Hasil Uji Tahap 2 : Analisis Aktivitas Fisiologi Gulma <i>Spenochlea zeylanica</i> Resisten Herbisida 2,4-D .....	66
4.2.1.1 Laju Asimilasi Karbon <i>S. zeylanica</i> akibat Aplikasi 2,4-D .....	66
4.2.1.2 Laju Konduktansi Stomata <i>S. zeylanica</i> akibat Aplikasi 2,4-D .....	67
4.2.1.3 Laju Transpirasi <i>S. zeylanica</i> akibat Aplikasi 2,4-D .....	69

4.2.2 Hasil Uji Tahap 2 : Analisis Aktivitas Fisiologi Gulma <i>Spenochlea zeylanica</i> Resisten Herbisida Metil	
Metsulfuron .....	70
4.2.2.1 Laju Asimilasi Karbon <i>S. zeylanica</i> akibat Aplikasi Metil Metsulfuron .....	70
4.2.2.2 Laju Konduktansi Stomata <i>S. zeylanica</i> akibat Aplikasi Metil Metsulfuron .....	71
4.2.2.3 Laju Transpirasi <i>S. zeylanica</i> akibat Aplikasi Metil Metsulfuron .....	73
4.3 Pembahasan .....	74
<b>V. KESIMPULAN</b> .....	81
5.1 Kesimpulan .....	81
5.2 Saran .....	82
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	83
<b>LAMPIRAN</b> .....	90

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Tingkat dosis bahan aktif herbisida dalam pengujian resistensi gulma.....	33
2. Nilai $LT_{50}$ <i>S. zeylanica</i> terhadap herbisida 2,4-D .....	47
3. Nilai $ED_{50}$ dan NR <i>S. zeylanica</i> terhadap herbisida 2,4-D .....	48
4. Nilai $LT_{50}$ <i>L. octovalvis</i> terhadap herbisida 2,4-D .....	53
5. Nilai $ED_{50}$ dan NR <i>L. octovalvis</i> terhadap herbisida 2,4-D .....	53
6. Nilai $LT_{50}$ <i>S. zeylanica</i> terhadap herbisida metil metsulfuron .....	59
7. Nilai $ED_{50}$ dan NR <i>S. zeylanica</i> terhadap herbisida metil metsulfuron .....	60
8. Nilai $LT_{50}$ <i>L. octovalvis</i> terhadap herbisida metil metsulfuron .....	65
9. Nilai $ED_{50}$ dan NR <i>L. octovalvis</i> terhadap herbisida metil metsulfuron .....	65
10. Pengamatan persen keracunan <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D .....	91
11. Pengamatan persen keracunan <i>L. octovalvis</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D .....	91
12. Pengamatan persen keracunan <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	92

13. Pengamatan persen keracunan <i>L. octovalvis</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	92
14. Bobot kering <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D .....	93
15. Bobot kering <i>L. octovalvis</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D .....	93
16. Bobot kering <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	94
17. Bobot kering <i>L. octovalvis</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	94
18. Laju asimilasi karbon <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D pada 4 HSA .....	95
19. Laju asimilasi karbon <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D pada 8 HSA .....	95
20. Laju asimilasi karbon <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D pada 12 HSA .....	96
21. Laju konduktansi stomata <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D pada 4 HSA .....	96
22. Laju konduktansi stomata <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D pada 8 HSA .....	97
23. Laju konduktansi stomata <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D pada 12 HSA .....	97
24. Laju transpirasi <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D pada 4 HSA .....	98
25. Laju transpirasi <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D pada 8 HSA .....	98

26. Laju transpirasi <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D pada 12 HSA .....	99
27. Laju asimilasi karbon <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron pada 4 HSA .....	99
28. Laju asimilasi karbon <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron pada 8 HSA .....	100
29. Laju asimilasi karbon <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron pada 12 HSA .....	100
30. Laju konduktansi stomata <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron pada 4 HSA .....	101
31. Laju konduktansi stomata <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron pada 8 HSA .....	101
32. Laju konduktansi stomata <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron pada 12 HSA .....	102
33. Laju transpirasi <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron pada 4 HSA .....	102
34. Laju transpirasi <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron pada 8 HSA .....	103
35. Laju transpirasi <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron pada 12 HSA .....	103



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bagan kerangka pemikiran .....	8
2. <i>Spenochlea zeylanica</i> .....	15
3. <i>Ludwigia octovalvis</i> .....	17
4. Status terkini resistensi herbisida secara global berdasarkan beberapa bahan aktif .....	21
5. Rumus bangun 2,4-D .....	24
6. Rumus bangun metil metsulfuron .....	27
7. Tata letak percobaan resistensi gulma <i>S. zeylanica</i> terhadap herbisida 2,4-D .....	33
8. Tata letak percobaan resistensi gulma <i>L. octovalvis</i> terhadap herbisida 2,4-D .....	34
9. Tata letak percobaan resistensi gulma <i>S. zeylanica</i> terhadap herbisida metil metsulfuron .....	34
10. Tata letak percobaan resistensi gulma <i>L. octovalvis</i> terhadap herbisida metil metsulfuron .....	35
11. Lokasi survei dan pengambilan sampel gulma terpapar herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron .....	36

12. Lokasi survei dan pengambilan sampel gulma tidak terpapar herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron .....	36
13. Li-COR 6800 F .....	41
14. Nilai persen keracunan <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D ..	43
15. Respons <i>S. zeylanica</i> terpapar dan tidak terpapar herbisida 2,4-D pada 14 HSA .....	44
16. Bobot kering gulma <i>S. zeylanica</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi herbisida 2,4-D .....	45
17. Persen kerusakan gulma <i>S. zeylanica</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi herbisida 2,4-D .....	46
18. Nilai persen keracunan <i>L. octovalvis</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D .....	49
19. Respons <i>L. octovalvis</i> terpapar dan tidak terpapar herbisida 2,4-D pada 14 HSA .....	50
20. Bobot kering gulma <i>L. octovalvis</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi herbisida 2,4-D .....	51
21. Persen kerusakan gulma <i>L. octovalvis</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi herbisida 2,4-D .....	52
22. Nilai persen keracunan <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	55
23. Respons <i>S. zeylanica</i> terpapar dan tidak terpapar herbisida metil metsulfuron pada 14 HSA .....	56
24. Bobot kering gulma <i>S. zeylanica</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	57

25. Persen kerusakan gulma <i>S. zeylanica</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	58
26. Nilai persen keracunan <i>L. octovalvis</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	61
27. Respons <i>L. octovalvis</i> terpapar dan tidak terpapar herbisida metil metsulfuron pada 14 HSA .....	62
28. Bobot kering gulma <i>L. octovalvis</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	63
29. Persen kerusakan gulma <i>L. octovalvis</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	64
30. Laju asimilasi karbon <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D ....	67
31. Laju konduktansi stomata <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D .....	68
32. Laju transpirasi <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D .....	69
33. Laju asimilasi karbon <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	71
34. Laju konduktansi stomata <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	72
35. Laju transpirasi <i>S. zeylanica</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron .....	73

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Keberadaan gulma menyebabkan terganggunya proses budidaya tanaman sejak awal penanaman hingga waktu pemanenan, sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman. Komoditas tanaman pangan seperti padi sawah terkena dampak penurunan produksi akibat permasalahan gulma tersebut. Menurut Pitoyo (2006), keberadaan gulma pada padi sawah menyebabkan kehilangan hasil panen mencapai 42%, sehingga pengendalian gulma harus dilakukan agar tidak menimbulkan kerugian bagi pelaku usaha pertanian.

Gulma pada pertanaman padi sawah terdiri dari 3 golongan yaitu rumput, teki, dan daun lebar. Caton *et al.* (2010) menyatakan bahwa jenis gulma daun lebar (*Sphenoclea zeylanica* dan *Monochoria vaginalis*) dan teki (*Cyperus difformis*) mendominasi di areal persawahan negara-negara Asia Tenggara seperti Indonesia. IRRI (2016) melaporkan terdapat beberapa spesies gulma penting pada padi sawah yaitu *Leptochloa chinensis*, *S. zeylanica*, *M. vaginalis*, *Echinochloa spp.*, dan *C. difformis*.

Pengendalian gulma pada pertanaman padi sawah sering dilakukan dengan metode kimiawi yaitu menggunakan herbisida, karena dinilai lebih efektif dan

efisien dalam segi waktu dan biaya dibandingkan teknik pengendalian lainnya. Menurut Direktorat Pupuk dan Pestisida (2016), terdapat banyak bahan aktif herbisida yang digunakan dalam budidaya padi sawah seperti 2,4-D, metil metsulfuron, natrium bispiribak, fenoxaprop-p-ethyl, ethoxysulfuron, pendimetalin, dan oksifluorfen. Namun, yang banyak digunakan pada budaya padi sawah di Indonesia adalah herbisida berbahan aktif 2,4-D dan metil metsulfuron.

Herbisida berbahan aktif 2,4-D adalah salah satu herbisida tertua yang digunakan di dunia. 2,4-D merupakan herbisida selektif yang dapat mengendalikan gulma daun lebar dan teki dengan cara mengganggu kesetimbangan hormon sehingga pembelahan dan perpanjangan sel akan terhambat yang berakibat kematian secara perlahan pada gulma yang sensitif. 2,4-D tergolong dalam herbisida sintetik auksin yang bersifat sistemik. Paruh waktu dari herbisida 2,4-D di lingkungan relatif cepat yaitu rata – rata 10 hari di dalam tanah dan kurang dari 10 hari di air. Namun, akan relatif lama apabila pada kondisi suhu yang dingin dan tanah yang lembab (Tu *et al.*, 2001). Menurut Nufarm (2012), herbisida 2,4-D dapat digunakan untuk mengendalikan gulma pasca tumbuh baik yang berdaun lebar maupun teki pada padi sawah. Beberapa jenis gulma yang dapat dikendalikan dengan herbisida 2,4-D ini adalah *Jussiaea repens*, *Limnochris flava*, *Monochoria vaginalis*, dan lain-lain.

Menurut Tomlin (2010), herbisida berbahan aktif metil metsulfuron merupakan herbisida golongan penghambat kinerja enzim *acetolactate synthase* (ALS) bersifat sistemik yang dapat diaplikasi sebelum gulma tumbuh (pratumbuh)

maupun setelah gulma tumbuh (pasca tumbuh). Herbisida ini efektif mengendalikan gulma golongan daun lebar dan rumput yang menyebabkan pertumbuhan berhenti setelah aplikasi *post-emergence* dan akan mati dalam 7-21 hari. Hasil penelitian menunjukkan beberapa gulma yang mampu dikendalikan oleh herbisida metil metsulfuron pada padi sawah antara lain adalah *C. difformis* (Noviasman, 2019), *L. flava* (Saputri, 2019), dan pada perkebunan kelapa sawit antara lain : *Ageratum conyzoides*, *Synedrella nodiflora*, *Axonopus compressus*, dan *Cyperus kyllingia* (Koriyando *et al.*, 2014).

Keefektifan herbisida berbahan aktif 2,4-D dan metil metsulfuron dalam mengendalikan gulma pertanaman padi menyebabkan petani lebih cenderung memakai kedua bahan aktif tersebut dalam pengendalian gulma. Padahal, penggunaan herbisida secara terus-menerus tanpa adanya rotasi bahan aktif herbisida dalam jangka waktu yang lama (lebih dari 10 tahun) terhadap gulma dapat mengakibatkan terjadinya resistensi gulma.

Resistensi gulma merupakan kemampuan suatu gulma untuk bertahan hidup terhadap aplikasi herbisida dengan dosis yang umumnya mampu mematikan gulma tersebut. Menurut Ginting *et al.* (2015) resistensi gulma juga bisa terjadi akibat aplikasi herbisida dengan dosis yang berlebihan. Resistensi herbisida berkembang setelah adanya proses seleksi yang berlangsung selama banyak generasi yang diakibatkan oleh seleksi pada gulma yang diberi perlakuan herbisida secara terus menerus dengan jenis yang sama.

Terjadinya resistensi gulma terhadap herbisida telah banyak dilaporkan di berbagai negara. Untuk pertama kalinya kasus resistensi terhadap herbisida

dilaporkan pada tahun 1957 di Hawaii yaitu kasus resistensi gulma *Commelina diffusa* pada komoditas wortel spesies liar terhadap herbisida 2,4-D (Switzer, 1957 dalam Stachler *et al.*, 2000). Laporan resistensi gulma terhadap herbisida 2,4-D terbaru oleh Dellaferrera *et al.* (2018) menyebutkan bahwa gulma *Amaranthus hybridus* telah resisten pada komoditas kedelai di Argentina. Laporan Heap (2019) menyebutkan bahwa telah terjadi resistensi beberapa gulma komoditas padi sawah terhadap herbisida 2,4-D di berbagai negara, antara lain: *Fimbristylis miliacea* (1989 di Malaysia), *L. flava* (1998 di Malaysia), *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* (2013 di Uruguay), dan *Echinochloa crusgalli* var. *zelayensis* (2013 di China).

Laporan resistensi gulma terhadap herbisida metil metsulfuron (Penghambat enzim ALS) pada komoditas padi sawah antara lain: *C. difformis* (1993 di Amerika Serikat), *C. iria* (2015 di Venezuela) dan *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* (2017 di Ukraina). Laporan resistensi gulma terhadap herbisida metil metsulfuron oleh Prakoso (2018) menyebutkan bahwa gulma *S. zeylanica* telah mengalami resisten tingkat tinggi pada komoditas padi sawah dengan nilai nisbah resistensi 131.

Aplikasi herbisida menyebabkan perbedaan aktivitas fisiologi yang terjadi antara gulma resisten dan sensitif. Hasil penelitian Figueiredo *et al.* (2018) menunjukkan bahwa tidak terjadi perbedaan penyerapan herbisida 2,4-D antara gulma *Amaranthus tuberculatus* yang resisten dan sensitif. Pada proses mekanisme kerja yang terjadi, gulma resisten mampu memetabolisme herbisida lebih cepat dibandingkan gulma yang sensitif. Hal ini menyebabkan terjadinya

perbedaan waktu yang dibutuhkan herbisida untuk meracuni gulma resisten dan sensitif. Peningkatan metabolisme menyebabkan translokasi herbisida menurun, sehingga herbisida membutuhkan waktu yang lama untuk meracuni gulma resisten dibandingkan gulma sensitif. *A. tuberculatus* resisten memiliki waktu paruh 2,4-D selama 22 jam, sedangkan pada gulma sensitif memiliki waktu paruh yang lebih lama yaitu 105 jam. Hasil penelitian Rodrigues *et al.* (2014) menyatakan bahwa aplikasi herbisida nicosulfuron (penghambat enzim ALS) pada gulma *Urochloa brizantha* berdampak pada penurunan aktivitas fisiologi seperti laju fotosintesis, konduktansi stomata, dan transpirasi.

Informasi mengenai resistensi gulma terhadap herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron di Indonesia terhadap herbisida masih sangat minim khususnya pada pertanaman padi sawah. Padahal kedua bahan aktif herbisida tersebut sangat sering digunakan oleh petani padi sawah di Indonesia khususnya Provinsi Lampung.

Berdasarkan survei yang telah dilakukan di Desa Tempuran Kecamatan Trimurjo Kabupaten Lampung Tengah, gulma *Spenochlea zeylanica* dan *Ludwigia octovalvis* telah sulit dikendalikan dengan herbisida berbahan aktif 2,4-D maupun metil metsulfuron. Petani harus mengeluarkan lebih banyak biaya pengendalian karena mereka harus mengaplikasikan herbisida lebih sering dengan dosis yang lebih tinggi. Hal ini dapat berdampak pada penurunan produktivitas dan pertumbuhan ekonomi, peningkatan harga produk pertanian, serta peningkatan resiko bahaya bagi kesehatan masyarakat dan lingkungan hidup.



Penelitian mengenai resistensi gulma terhadap herbisida sangat penting dilakukan untuk menambah informasi tentang gulma-gulma yang telah mengalami resistensi. Informasi ini berguna untuk pelaku usaha pertanian, industri pestisida, dan pengambil kebijakan untuk melakukan pencegahan dan pengelolaan agar dampak negatif resistensi gulma dapat diminimalisir.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab masalah yang dirumuskan dalam pertanyaan sebagai berikut :

1. Berapa waktu ( $LT_{50}$ ) herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron dalam meracuni gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* yang terpapar dan tidak terpapar herbisida?
2. Berapa Dosis Efektif ( $ED_{50}$ ) untuk meracuni gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* yang terpapar dan tidak terpapar herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron?
3. Bagaimana status resistensi gulma *S. zeylanica*, dan *L. octovalvis* yang terpapar herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron?
4. Bagaimana perbedaan aktivitas fisiologi pada gulma resisten dan sensitif terhadap herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

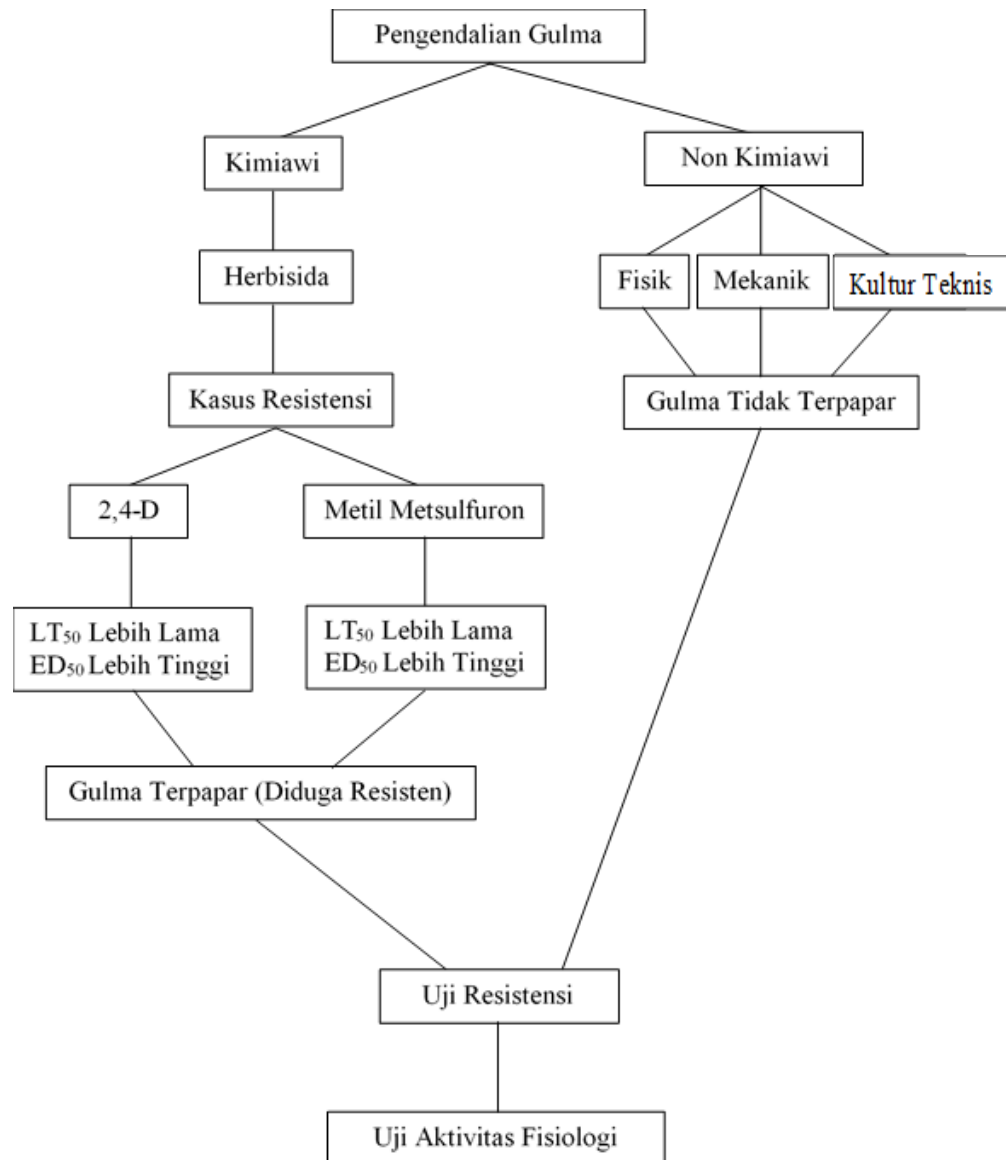
Berdasarkan identifikasi dan perumusan masalah, tujuan penelitian dirumuskan sebagai berikut :

1. Mengetahui waktu ( $LT_{50}$ ) herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron dalam meracuni gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* yang terpapar dan tidak terpapar herbisida.
2. Mengetahui nilai Dosis Efektif ( $ED_{50}$ ) untuk meracuni gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* yang terpapar dan tidak terpapar herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron.
3. Mengetahui status resistensi gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* yang terpapar herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron.
4. Mengetahui perbedaan aktivitas fisiologi pada gulma resisten dan sensitif terhadap herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron.

#### **1.4 Kerangka Pemikiran**

Bagan kerangka pemikiran dapat dilihat pada Gambar 1. Beberapa metode pengendalian gulma di pertanaman padi sawah yaitu manual, mekanis, kultur teknis, kimiawi ataupun menggabungkan beberapa metode. Metode kimiawi dengan menggunakan herbisida merupakan metode yang efektif dan efisien dalam segi waktu, tenaga, dan biaya. Menurut Sembodo (2010), herbisida merupakan bahan kimia yang dapat mengendalikan pertumbuhan gulma secara sementara atau seterusnya jika diberikan pada dosis yang tepat.

Meskipun metode pengendalian non-kimia telah digunakan untuk mengendalikan gulma, herbisida dianggap sebagai cara paling efektif untuk mengendalikan gulma. Pada pertanaman padi sawah di Desa Tempuran Kecamatan Trimurjo Lampung Tengah, herbisida yang sering digunakan untuk mengendalikan gulma adalah herbisida berbahan aktif 2,4-D dan metil metsulfuron.



Gambar 1. Bagan kerangka pemikiran

2,4-D (2,4-diklorofenoksiasetat) merupakan suatu herbisida auksinat yang secara komersial dilepaskan pada tahun 1946. 2,4-D menjadi bahan aktif herbisida pertama yang selektif berhasil mengendalikan target gulma (Caballero *et al.*, 2016). Metil metsulfuron (Penghambat ALS dan AHAS) memiliki mekanisme dalam mengendalikan gulma dengan cara menghambat proses metabolisme pada sistem pembentukan enzim asam laktat atau yang lebih dikenal dengan sebutan ALS sintase. Proses ini berperan penting dalam pembentukan ikatan rantai asam

amino dalam tumbuhan. Pengendalian gulma dengan kedua bahan aktif 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 yang lama pada suatu areal dapat menimbulkan resistensi gulma terhadap herbisida.

Berdasarkan hasil penelitian Kenny (2018), bahwa gulma padi sawah yang diuji (*Ischaemum rugosum*, *M. vaginalis* dan *S. zeylanica*) dari area terpapar herbisida metil metsulfuron membutuhkan waktu ( $LT_{50}$ ) lebih lama untuk teracuni dibandingkan dengan gulma tidak terpapar herbisida metil metsulfuron, serta membutuhkan dosis efektif ( $ED_{50}$ ) yang lebih banyak dibandingkan dengan gulma asal area tidak terpapar herbisida metil metsulfuron. Hal ini menunjukkan bahwa gulma yang terpapar herbisida mengalami waktu teracuni ( $LT_{50}$ ) lebih lama dan dosis efektif ( $ED_{50}$ ) lebih banyak dibandingkan dengan gulma tidak terpapar herbisida. Tidak menutup kemungkinan gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* akan mengalami hal yang sama jika diaplikasikan herbisida berbahan aktif lain seperti 2,4-D.

Hasil penelitian Prakoso (2018) menyebutkan bahwa gulma *S. zeylanica* telah mengalami resisten tingkat tinggi terhadap herbisida metil metsulfuron pada komoditas padi sawah Kecamatan Punggur Kabupaten Lampung Tengah dengan nilai nisbah resistensi 131. Tidak menutup kemungkinan bahwa gulma tersebut mengalami resisten terhadap herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron di Kecamatan Trimurjo Kabupaten Lampung Tengah, dikarenakan pada saat survei gulma tersebut sudah sulit dikendalikan.

Resistensi gulma dapat diketahui dengan membandingkan antara gulma yang sering terpapar herbisida dengan gulma yang tidak pernah terpapar herbisida. Pengujian dilakukan dengan membandingkan respon keracunan dan ED<sub>50</sub> antara gulma yang terpapar dengan tidak terpapar herbisida. Status resistensi gulma yang sering terpapar herbisida dapat diketahui dengan melihat nilai Nisbah Resistensi (NR) yang diperoleh dengan membandingkan nilai ED<sub>50</sub> gulma yang terpapar herbisida dan gulma yang tidak terpapar herbisida.

Aplikasi herbisida berpengaruh terhadap aktivitas fisiologi gulma. Aktivitas fisiologi gulma yang diuji oleh Sari *et al.* (2019) antara lain laju asimilasi karbon, konduktansi stomata, dan transpirasi yang memiliki keterkaitan satu sama lain. Menurut Davies and Flore (1986) bahwa stomata berperan sebagai pertukaran gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dari luar ke dalam tanaman yang berarti proses metabolisme berjalan seiring dengan proses buka-tutup stomata. Apabila metabolisme terhambat maka konduktansi stomata akan menurun bahkan terhenti. Bhatla (2018) menyatakan bahwa hilangnya tekanan turgor pada sel penjaga yang menyebabkan stomata tertutup, akibatnya transpirasi terhambat. Dengan terhambatnya konduktivitas stomata dan transpirasi, maka laju asimilasi karbon juga akan terhambat. Hal ini menyebabkan proses metabolisme terganggu dan berakibat pada kematian gulma. Pada kasus resistensi gulma terhadap herbisida, biotipe yang terbukti resisten mampu memetabolisme herbisida. Sehingga diperlukan uji aktivitas fisiologi untuk mengetahui mekanisme resistensi yang terjadi.

## 1.5 Hipotesis

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

1. Waktu ( $LT_{50}$ ) herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron dalam meracuni gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* yang terpapar lebih lambat daripada kedua jenis gulma tersebut yang tidak terpapar herbisida.
2. Nilai Dosis Efektif ( $ED_{50}$ ) untuk meracuni gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* yang terpapar herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron lebih tinggi daripada kedua jenis gulma tersebut yang tidak terpapar herbisida.
3. Gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* resisten terhadap herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron.
4. Terjadi perbedaan aktivitas fisiologi pada gulma resisten dan sensitif terhadap herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tanaman Padi

Padi merupakan komoditas tanaman pangan utama di Indonesia. Padi banyak dibudidayakan di daerah tropis. Spesies padi yang umumnya dibudidayakan oleh petani adalah spesies *Oryza sativa* L. Tanaman padi memiliki bentuk perakaran serabut, berbatang bulat dan berongga yang disebut jerami. Helai daun bangun baris dengan tepi kasar dan panjangnya 15-80 cm. Bunga padi terdiri dari tangkai bunga, kelopak bunga lemma (gabah yang besar), palea (gabah yang kecil), putik, kepala putik, benang sari dan bulu pada ujung lemma. Jumlah anakan pada padi bervariasi dapat mencapai 30-110 anakan tergantung teknik budidaya yang digunakan (Utama, 2015).

Beras merupakan bahan makan utama masyarakat Indonesia yang diperkirakan mencapai hampir 262 juta jiwa dengan laju pertumbuhan sebesar 1,31% dan tingkat konsumsi beras mencapai 132,98 kg/kapita/tahun (BPS, 2018).

Pertambahan penduduk yang terjadi setiap tahun, maka peningkatan produksi beras saat ini menjadi prioritas untuk mengatasi kekurangan suplai. Menurut BPS (2018), produksi beras di Indonesia masih rendah yaitu hanya 32,42 juta ton.

Sedangkan data yang dilaporkan Bobby (2019), produksi beras di China dan India sudah mencapai 148,49 dan 116 juta ton pada tahun 2018.

Indonesia selalu mengimpor beras mulai dari tahun 2000 hingga 2018 atau selama 18 tahun. Volume impor beras terbesar didatangkan Indonesia dari 2 Negara tetangga, yaitu Vietnam dan Thailand karena kedua negara tersebut mengalami surplus beras setiap tahunnya (Yanuarti dan Afsari, 2016). Menurut data BPS (2018), volume impor beras Indonesia periode Januari-November 2018 sebesar 2,2 juta ton, meningkat dibanding periode Januari-Desember 2017 yang hanya mencapai 305,75 ribu ton. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa kebutuhan akan beras di Indonesia masih sangat kurang. Maka perlu adanya tindakan yang sifatnya jangka panjang agar masalah impor beras tidak berkepanjangan seperti pengelolaan budidaya yang baik dalam hal pengendalian OPT seperti pengendalian gulma.

Pengendalian gulma sering terabaikan, karena dianggap tidak membahayakan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi. Padahal kenyataannya di lapangan gulma dapat menurunkan hasil produksi padi. Menurut Rijn (2000), gulma dapat mengurangi hasil tanaman padi karena terjadi persaingan antara gulma dan tanaman padi dalam mendapatkan cahaya,  $O_2$ , dan  $CO_2$ , serta makanan sehingga pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi tidak optimal. Penurunan hasil tanaman tersebut diakibatkan karena gulma dapat menurunkan aktivitas pertumbuhan antara lain terhambatnya pertumbuhan tanaman, terjadi klorosis, kekurangan hara, serta terjadinya pengurangan jumlah dan ukuran organ tanaman. Disamping itu gulma dapat menjadi sarang atau tempat berlindung hama dan penyakit tanaman, sehingga dapat menyebabkan kerugian dalam panen, menurunkan mutu dan menaikkan biaya produksi.



## 2.2 Gulma di Pertanaman Padi

Gulma merupakan tumbuhan pengganggu yang keberadaannya dapat mengakibatkan kehilangan hasil produksi tanaman budidaya apabila tidak dikendalikan secara efektif. Gulma padi sawah umumnya didominasi oleh golongan berdaun lebar, rumput dan teki. Berdasarkan laporan IRRI (2016), terdapat beberapa spesies gulma penting pada padi sawah yaitu *Leptochloa chinensis*, *Sphenoclea zeylanica*, *Monochoria vaginalis*, *Echinochloa spp.*, dan *Cyperus difformis*. Analisis vegetasi gulma yang dilakukan Kurniati (2018) di Kecamatan Trimurjo Kabupaten Lampung Tengah, terdapat 9 jenis gulma di lokasi percobaan. Gulma tersebut adalah *M. vaginalis*, *L. octovalvis*, *S. zeylanica*, *C. difformis*, *C. iria*, *F. milliacea*, *Echinochloa colona*, *Leersia hexandra*, dan *Leptochloa chinensis*. Gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* termasuk dominan di areal tersebut.

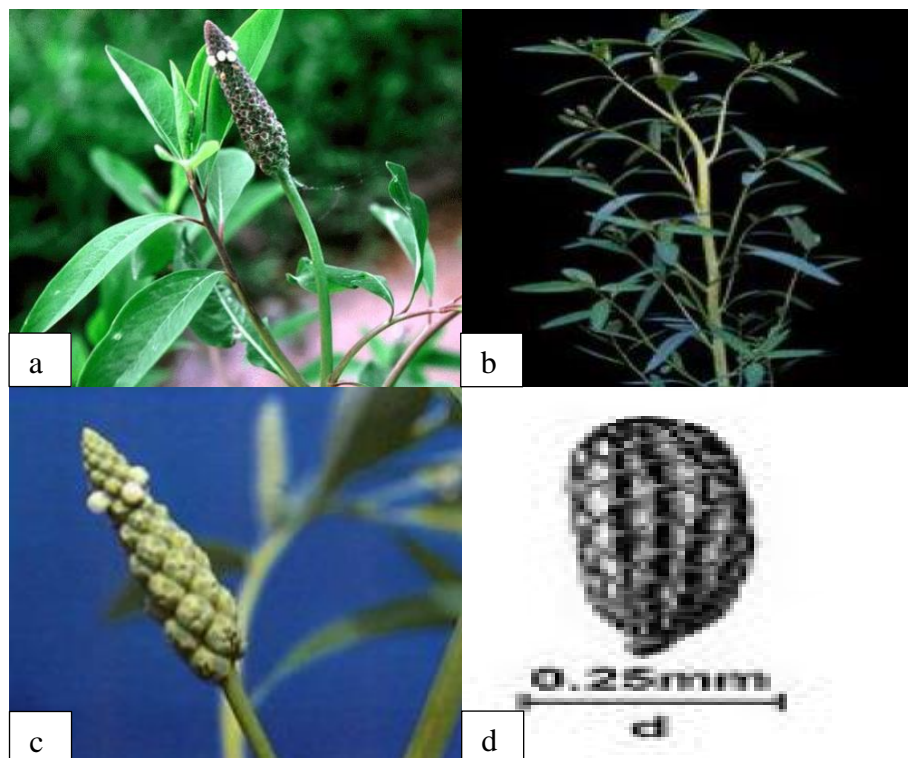
### a. *Sphenoclea zeylanica*

Klasifikasi *S. zeylanica* yaitu :

Kingdom	: Plantae
Divisio	: Spermatophyta
Kelas	: Dicotyledoneae
Ordo	: Solanales
Familia	: Sphenocleaceae
Genus	: <i>Sphenoclea</i>
Spesies	: <i>Sphenoclea zeylanica</i> (Holm <i>et al.</i> , 1997).

*S. zeylanica* umumnya ditemukan di dataran rendah hingga ketinggian 300 mdpl. Gulma ini sering ditemukan di sawah, akar berbentuk tali, batang berongga, bunga putih berbentuk bulir, berkembang biak melalui biji, habitatnya sawah yang selalu tergenangi dan rawa. Siklus hidup gulma ini yaitu tahunan dengan organ perkembangbiakan berupa biji.

Pengendalian dapat dilakukan secara mekanis maupun secara kimiawi menggunakan herbisida (Caton *et al.*, 2010). Gulma *S. zeylanica* termasuk gulma penting pada padi sawah (IRRI, 2016) dan memiliki penyebaran yang luas di wilayah pertanaman padi di Indonesia. Gulma ini memiliki daya saing yang tinggi sehingga pengendalian gulma penting dilakukan untuk menjaga kuantitas dan kualitas produksi.



Gambar 2. *Spenochlea zeylanica* di lapang (a) (Sumber : google images), gulma dewasa (b) (IRRI, 2016), bunga (c) (IRRI, 2016), dan biji *S. zeylanica* (d) (IRRI, 2016).

**b. *Ludwigia octovalvis***

Klasifikasi *L. octovalvis* yaitu:

Kingdom : Plantae

Divisio : Spermatophyta

Kelas : Dicotyledoneae

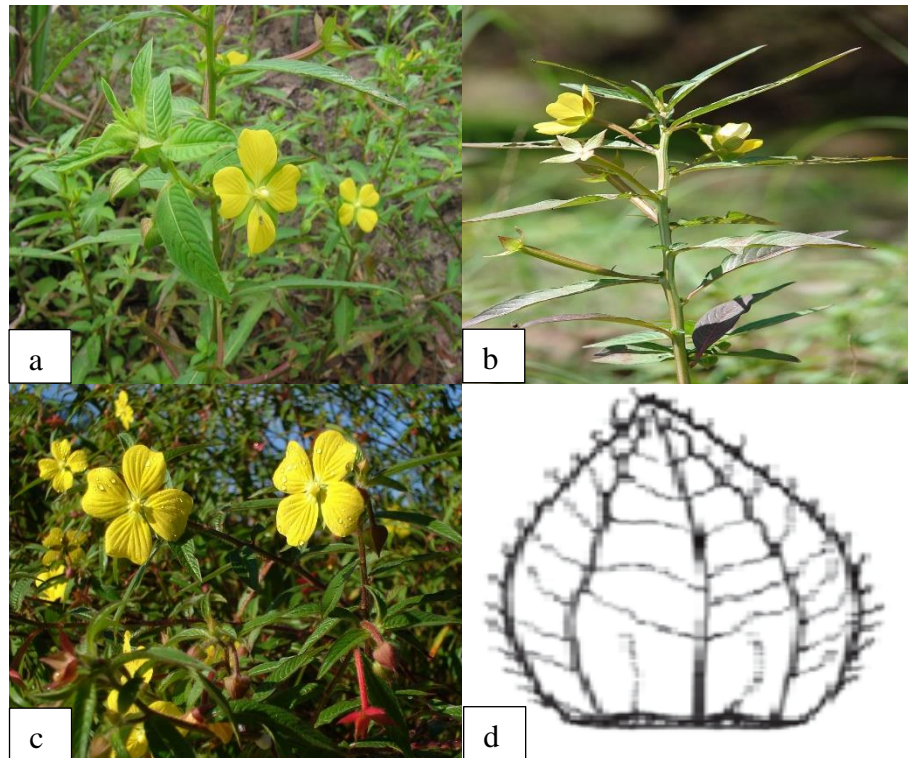
Ordo : Myrtales

Familia : Ornagraceae

Genus : Ludwigia

Spesies : *Ludwigia octovalvis* (Holm, 1997).

*L. octovalvis* umumnya ditemukan di dataran rendah dan dapat tumbuh dengan baik di daerah basah maupun lembab. Gulma ini berbentuk tegak, memiliki banyak cabang dan tingginya dapat mencapai 1,5 m. *L. octovalvis* merupakan gulma yang memiliki daya saing tinggi. Siklus hidup *L. octovalvis* sepanjang tahun dan dapat berkembangbiak melalui biji maupun bagian tanaman. Gulma ini memiliki dormansi yang rendah dan membutuhkan cahaya untuk berkecambah. *L. octovalvis* dapat hidup di tempat yang ternaungi maupun tidak ternaungi. Gulma ini merupakan tumbuhan yang responsif terhadap pemupukan (Caton *et al.*, 2011).



Gambar 3. *Ludwigia octovalvis* di lapang (a) (Sumber : *google images*), gulma dewasa (b) (IRRI, 2016), bunga (c) (Sumber : *google images*), dan biji *L. octovalvis* (d) (IRRI, 2016).

### 2.3 Pengendalian Gulma di Pertanaman Padi

Keberadaan gulma pada lahan budidaya menyebabkan persaingan dengan tanaman budidaya dalam memperebutkan unsur hara, cahaya, air, dan ruang tumbuh. Gulma juga dapat menjadi tumbuhan inang dari hama dan penyakit tanaman sehingga keberadaannya harus dikendalikan (Pujisiswanto, 2012).

Tingkat persaingan yang terjadi antara tanaman dengan gulma akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman padi. Tingkat kehilangan hasil tanaman padi sawah tanpa dilakukan pengendalian terhadap gulma mencapai 48-81% (Sembodo, 2010). Penurunan hasil padi akibat keberadaan gulma berbanding lurus dengan kerapatan gulma sehingga perlu pengendalian gulma (Jamilah, 2013). Periode kritis tanaman padi yaitu 0—1/3 umur tanaman yang merupakan

fase kritis tanaman. Pada fase ini kanopi antar tanaman belum menutup sehingga memberi kesempatan biji-biji gulma untuk berkecambah dan tumbuh lebih cepat dari pada tanaman padi (Pane dan Jatmiko, 2009).

Pengendalian gulma pada padi sawah sangat penting dilakukan untuk menjaga mengurangi potensi penurunan hasil panen. Pengendalian gulma pada lahan sawah dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain mekanis, kultur teknis, hayati, kimiawi, dan terpadu. Namun, teknik pengendalian secara kimiawi dengan menggunakan herbisida dinilai lebih efektif dan efisien dalam segi waktu dan biaya dibandingkan teknik pengendalian lainnya.

Menurut Pitoyo (2006), jenis herbisida yang efektif mengendalikan gulma tanpa meracuni tanaman padi di antaranya yaitu 2,4-D, pendimetalin, propanil, oksifluorfen dan metil metsulfuron. Menurut Sembodo (2010), waktu aplikasi herbisida disesuaikan dengan teknik budidaya tanaman yaitu pratanam (sebelum tanaman ditanam), pratumbuh (sebelum gulma tumbuh), dan pascatumbuh (setelah gulma tumbuh).

Apriadi (2013) dalam penelitiannya mengaplikasikan herbisida berbahan aktif 2,4-D dan metil metsulfuron hanya sekali pada 2 minggu setelah pindah tanam dan bibit padi (Inpari 13) yang dipindah tanam berumur 19 hari setelah disemai. Hasil yang diperoleh yaitu aplikasi herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron mampu mengendalikan gulma hingga 6 MSA dan hasil gabah per petak panen lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tidak diaplikasi herbisida. Ramadhani (2018) dalam penelitiannya mengaplikasikan herbisida etil pirazosulfuron + pendimetalin hanya sekali pada 3 hari sebelum tanam dan bibit padi (Inpari 42) yang dipindah

tanam berumur 16 hari setelah disemai. Hasil yang didapatkan yaitu campuran herbisida etil pirazosulfuron + pendimetalin mampu mengendalikan gulma hingga 6 MSA dan hasil panen yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan kontrol.

#### **2.4 Batasan dan Perkembangan Resistensi Gulma**

Resistensi gulma terhadap herbisida didefinisikan sebagai kemampuan yang diturunkan dari biotipe gulma untuk bertahan hidup dari aplikasi herbisida pada dosis yang biasanya akan mematikan gulma tersebut (Campbell *et al.*, 2011).

Resistensi gulma terhadap herbisida dapat terjadi akibat adanya mutasi pada *site of action* gulma sehingga herbisida tidak dapat meracuni gulma. Selain itu, adanya mekanisme lain, seperti metabolisme herbisida yang mengurangi translokasi dan serapan herbisida, dan kompartementasi herbisida atau metabolitnya (Manalil, 2015).

Penggunaan herbisida mengakibatkan tekanan seleksi yang tinggi pada populasi gulma serta keragaman komunitas gulma berubah dari waktu ke waktu dalam merespon herbisida yang diaplikasikan dalam pengendalian gulma. Tumbuhan yang tahan tekanan seleksi dari herbisida akan terus bertahan hidup dan bereproduksi. Jika seleksi oleh herbisida terus berlangsung selama beberapa generasi, biotipe gulma resisten terus meningkat sampai terlihat herbisida tidak lagi akan dapat mengendalikan gulma (Vencill *et al.*, 2012).

Setelah perang dunia II pada tahun 1940an, pengendalian gulma menggunakan herbisida semakin intensif karena lebih hemat biaya dan waktu. Selama 50 tahun terakhir, terjadi peningkatan penggunaan herbisida pada lahan pertanian sehingga

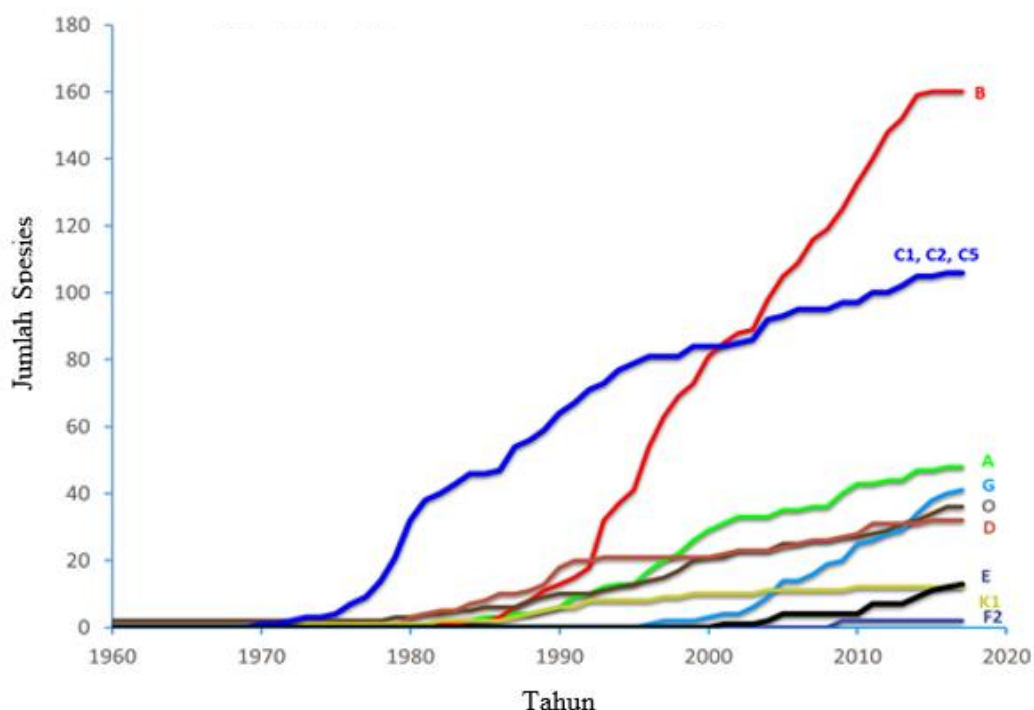
menyebabkan terjadinya resistensi terhadap herbisida. Beberapa karakteristik herbisida yang dapat memicu perkembangan resistensi, antara lain :

1. Herbisida yang hanya bekerja pada satu lokasi target tertentu
2. Herbisida yang digunakan beberapa kali selama musim tanam atau yang memiliki kemampuan meresidu tanah dalam jangka waktu yang panjang
3. Penggunaan herbisida secara kontinyu di lokasi yang sama pada tanaman yang sama maupun pada tanaman yang berbeda (Baumann, 2004).

Resistensi terhadap herbisida pertama kali dilaporkan pada awal tahun 1957 di Hawaii terhadap herbisida 2,4-D, dan laporan tentang resistensi gulma terhadap herbisida yang pertama kali dikonfirmasi adalah kasus resisten *Senecio vulgaris* terhadap herbisida triazine yang dilaporkan pada tahun 1968 di Amerika (Santhakumar, 2012). Di Amerika, ditemukan sebanyak 49 biotip gulma yang menjadi resisten terhadap herbisida, 24 biotip di Perancis dan Spanyol, 22 biotip di Australia dan Kanada, 18 biotip di Israel dan 16 biotip berasal dari Inggris. Pada periode 1970-1977, rata-rata ditemukan satu biotip baru yang telah menjadi resisten terhadap herbisida per tahun. Pada tahun 1970, banyak peneliti yang tertarik tentang fenomena resistensi terhadap triazine dan identifikasi kasus resistensi gulma menjadi meningkat (Heap, 2014). Status terkini resistensi herbisida secara global berdasarkan beberapa bahan aktif dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menjelaskan bahwa awal mula terjadinya resistensi gulma terhadap herbisida dimulai pada tahun 1970 yaitu pada herbisida golongan penghambat fotosistem II. Pada tahun 1980 sudah banyak ditemukan kasus resistensi gulma

terhadap beberapa golongan herbisida. Seiring berjalannya waktu, kasus kemunculan gulma yang resisten terhadap herbisida semakin meningkat. Herbisida golongan penghambat enzim ALS (contohnya: metil metsulfuron) menunjukkan peningkatan yang sangat pesat dalam perkembangan resistensi gulma dibandingkan dengan herbisida golongan lainnya sehingga perlu dilakukannya studi mengenai resistensi gulma terhadap herbisida tersebut di wilayah Indonesia.



Gambar 4. Status terkini resistensi herbisida secara global berdasarkan beberapa bahan aktif (Heap, 2018).

- Keterangan :
- = Penghambat ACCase (A)
  - = Penghambat ALS (B)
  - = Penghambat PS II (C1, C2, C5)
  - = Aliran Elektron PS I (D)
  - = Penghambat PPO (E)
  - = Penghambat HPPD (F2)
  - = Penghambat EPSP Sintase (G)
  - = Penghambat Mikrotubulus (K1)
  - = Sintetik Auksin (O)



Dalam upaya mengatasi permasalahan resistensi gulma, diperlukan herbisida dengan spektrum pengendalian yang luas atau metode pengendalian yang tepat yaitu dengan membuat campuran dua atau lebih bahan aktif herbisida dan metode pengendalian terpadu (Guntoro dan Fitri, 2013). Menurut Antralina *et al.* (2015), dua strategi efektif dalam pengendalian secara kimiawi adalah dengan melakukan rotasi herbisida dan adanya pencampuran penggunaan herbisida. Pencampuran herbisida dengan bahan aktif yang berbeda bertujuan untuk mendapatkan spektrum pengendalian yang lebih luas untuk memperlambat munculnya gulma resisten terhadap herbisida.

## **2.5 Mekanisme Resistensi Gulma**

Gulma yang diaplikasikan herbisida dapat menjadi resisten akibat adanya mekanisme yang mampu mencegah herbisida dari pengikatan atau penempatan target dimana normalnya lokasi target tersebut dapat mengganggu aktivitas biologi sehingga gulma mampu mendegradasi herbisida menjadi bentuk molekul non-fitotoksi dan mencegah herbisida masuk atau bergerak dalam jaringan gulma (Carvalho *et al.*, 2009).

Gulma mampu mengekspresikan sifat resisten pada *target-site* dan *non target-site* atau biasa disebut lokasi target yang dituju herbisida (Steinmaus *et al.*, 2000). *Target-site* dan *non target-site* tersebut terjadi pada enzim dalam bagian tumbuhan dimana bahan aktif pada herbisida dapat mengikat atau mengacau proses fisiologi gulma (Nandula, 2010). Kajian mengenai mekanisme resistensi gulma terhadap herbisida menjelaskan bahwa enzim target menjadi resisten

karena terjadi mutasi genetik pada asam amino sehingga herbisida tidak dapat lagi menghambat aktivitas enzim (Neve, 2007).

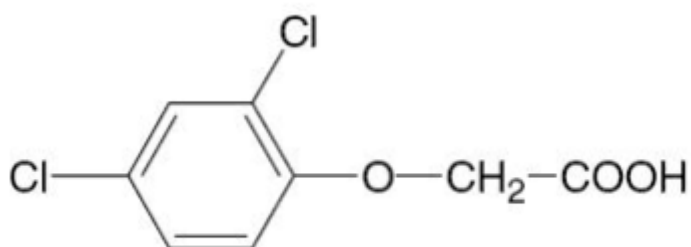
Heap (2014) menjelaskan bahwa terdapat lima mekanisme resistensi gulma terhadap herbisida, antara lain:

1. Berubahnya target sasaran yang disebabkan oleh modifikasi struktur enzim yang dapat menghalangi masuknya herbisida. Jika herbisida tidak dapat mengikat enzim maka gulma akan bertahan hidup karena proses produksi asam amino masih dapat terjadi.
2. Peningkatan metabolisme pada gulma yang mampu mendegradasi herbisida sebelum merusak susunan enzim.
3. Kompartementasi translokasi herbisida yang disebabkan pergerakan herbisida yang dibatasi sehingga tidak dapat mencapai lokasi targetnya dalam jumlah molekul yang cukup untuk menyebabkan kematian.
4. Amplifikasi gen/over-ekspresi yang menyebabkan terjadinya produksi enzim sasaran herbisida sehingga gulma menjadi resisten.
5. Mutasi yang terjadi pada salah satu rantai asam amino menyebabkan herbisida tidak dapat mengganggu rantai panjang asam amino sehingga gulma menjadi resisten.

## **2.6 Herbisida 2,4-D**

Herbisida berbahan aktif 2,4-D dimetil amina memiliki rumus molekul  $C_8H_6Cl_2O_3$  yang termasuk dalam herbisida golongan fenoksi. Nama kimia dari herbisida ini adalah *dimethyl amine 2,4-di-chloro phenoxy acetic Acid*; DMA-2,4 D. Herbisida berbahan aktif 2,4 D ditemukan oleh Dr. Franklin D. Jones dan pertama kali

digunakan pada tahun 1940 di Amerika Serikat. Mekanisme kerja 2,4-D adalah menyebabkan pembelahan sel yang tidak terkendali di dalam jaringan pembuluh (vaskuler). Herbisida ini dapat digunakan untuk mengendalikan gulma purna tumbuh baik yang berdaun lebar maupun teki pada padi sawah. Selain berguna untuk mengendalikan gulma di lahan pertanian, hutan, dan jalan darat, senyawa 2,4-D juga dapat mengendalikan gulma di lingkungan perairan. Contoh lingkungan perairan tersebut adalah kanal, sungai, danau, kolam, dan waduk (Anonim, 2019). Rumus bangun 2,4-D dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rumus bangun 2,4-D (Tomlin, 2010).

Adapun beberapa jenis gulma yang dapat dikendalikan dengan herbisida 2,4-D ini antara : *Lindernia sp*, *Monochoria vaginalis*, *Paspalum distichum*, *Scirpus juncooides*, *Digitaria ciliaris*, *Eleusine indica* dan lain-lain. Untuk mengetahui efektifitasnya maka herbisida tersebut harus diserap oleh gulma dan ditranslokasikan ke tempat lain seperti dari akar, batang dan daun (Chairul *et al.*, 2000).

Paparan senyawa 2,4-D pada jaringan tumbuhan akan menyebabkan produksi etilen meningkat dan perkembangan dinding sel tumbuhan menjadi abnormal akibat dari terganggunya kesetimbangan hormon. 2,4-D dimetil amina cenderung lebih mematikan jika diaplikasikan pada gulma berdaun lebar. 2,4-D bersifat

selektif dan sistemik, diserap melalui daun atau akar, dan ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman (Djojoseumarto, 2008).

Herbisida 2,4-D dijumpai dalam bentuk cairan yang tersedia di pasaran, sedangkan bentuk lainnya dapat berupa serbuk atau granular. Herbisida ini memiliki  $DT_{50}$  10 hari dalam tanah, dan  $LD_{50} > 746$  mg/kg dalam bentuk asam dan  $> 1000$  mg/kg dalam bentuk formulasi lainnya (pada tikus). 2,4-D tergolong dalam toksisitas rendah bagi mamalia dan kelompok burung, dan tidak menimbulkan toksisitas bagi lebah. Namun, 2,4-D tergolong dalam toksisitas tinggi terhadap organisme akuatik dalam bentuk garam 2,4-D. Waktu untuk degradasi herbisida ini berkisar antara 1 – 14 hari, namun dalam bentuk butoksil etil ester mampu bertahan selama 186 hari di sedimen akuatik (Jervais *et al.*, 2008). Herbisida ini umumnya digunakan untuk mengendalikan gulma daun lebar terutama dari golongan gulma berkayu dan gulma perennial. Herbisida ini telah digunakan di berbagai komoditas tanaman serealia, perkebunan, bahkan kehutanan (Monaco *et al.*, 2002).

Untuk pertama kalinya kasus resistensi terhadap herbisida dilaporkan pada tahun 1957 di Hawaii yaitu kasus resistensi gulma *Commelina diffusa* pada pertanaman wortel spesies liar terhadap herbisida 2,4-D (Switzer, 1957 dalam Stachler *et al.*, 2000). Laporan terbaru oleh Dellaferrera *et al.* (2018) menyampaikan bahwa gulma *Amaranthus hybridus* telah terjadi resisten terhadap herbisida 2,4-D pada komoditas kedelai di Argentina.

Berdasarkan laporan Heap (2019), terdapat 25 spesies gulma yang telah dikonfirmasi mengalami resisten terhadap herbisida 2,4-D di berbagai negara,

antara lain : *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus palmeri*, *Amaranthus tuberculatus*, *Arctotheca calendula*, *Carduus nutans*, *Carduus pycnocephalus*, *Cirsium arvense*, *Commelina diffusa*, *Conyza sumatrensis*, *Daucus carota*, *Fimbristylis miliacea*, *Galium aparine*, *Galium spurium*, *Hirschfeldia incana*, *Lactuca serriola*, *Limnocharis flava*, *Limnophila erecta*, *Papaver rhoeas*, *Plantago lanceolata*, *Ranunculus acris*, *Raphanus raphanistrum*, *Sinapis arvensis*, *Sisymbrium orientale*, *Sonchus oleraceus*, dan *Sphenoclea zeylanica*.

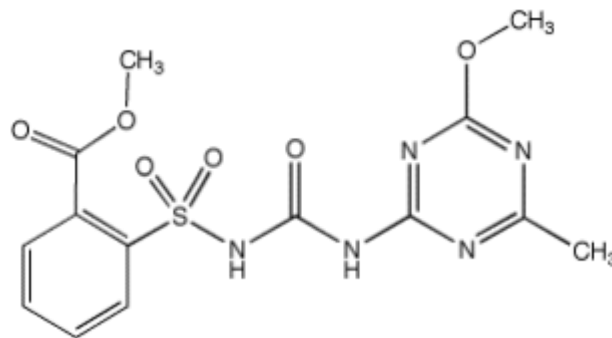
Diantara ke 25 gulma resisten 2,4-D tersebut, *Raphanus raphanistrum* paling banyak ditemukan karena penyebaran benih yang sangat luas. Resistensi gulma *S. zeylanica* terhadap herbisida 2,4-D pada pertanaman padi sawah dilaporkan terjadi di negara-negara asia tenggara seperti Malaysia, Filipina, dan Thailand. Tidak menutup kemungkinan resistensi gulma *S. zeylanica* terhadap herbisida 2,4-D terjadi pada pertanaman padi sawah di Indonesia.

Mekanisme terjadinya resistensi gulma terhadap herbisida 2,4-D masih belum banyak terdeteksi, namun sudah terdeteksi satu mekanisme yang terjadi yaitu berubahnya target sasaran yang disebabkan oleh modifikasi susunan enzim yang dapat menghalangi masuknya herbisida seperti pada gulma *Amaranthus tuberculatus* di Amerika dan *Papaver rhoeas* di Prancis pada tahun 2016 (Heap, 2019).

## 2.7 Herbisida Metil Metsulfuron

Metil metsulfuron merupakan bahan aktif herbisida yang memiliki rumus molekul  $C_{14}H_{15}N_5O_6S$  dengan rumus bangun seperti pada Gambar 6. Herbisida ini termasuk dalam famili Sulfonilurea yang bekerja secara sistemik yang akan

diserap dari akar maupun daun dan ditranslokasikan dengan cepat ke jaringan meristematik. Metil metsulfuron memiliki bentuk granular yang mempunyai rumus kimia 2-(4-methoxy-6-methyl-1,3,4-triazin-2-ylcarbamoysulfamoyl) benzoid acid (Tomlin, 2010). Herbisida metil metsulfuron memiliki nilai LD<sub>50</sub> yang tinggi yaitu lebih dari 5000 g/kg (Sembodo, 2010).



Gambar 6. Rumus bangun metil metsulfuron (Tomlin, 2010).

Herbisida metil metsulfuron bekerja dengan menghambat kerja dari enzim *acetolactate synthase* (ALS) dan *acetohydroxy synthase* (AHAS). Mekanisme awal herbisida ini yaitu menghambat perubahan  $\alpha$  ketoglutarate menjadi 2-acetohydroxybutyrate dan piruvat menjadi 2-acetolactate sehingga mengakibatkan rantai cabang asam amino valine, leusin, dan isoleusin tidak dihasilkan (Senseman, 2007). Penghambatan sintesis asam amino tersebut maka akan menyebabkan pertumbuhan gulma akan terhenti dan akhirnya mati.

Pengendalian gulma dengan mekanisme kerja herbisida yang sama secara terus-menerus dapat menimbulkan terjadinya resistensi gulma. Resistensi gulma terhadap herbisida muncul sudah ada sejak lama. Populasi gulma yang resisten terhadap herbisida adalah populasi yang mampu bertahan hidup normal pada dosis herbisida yang biasanya mematikan populasi tersebut.

Laporan adanya resistensi gulma terhadap metil metsulfuron ditemukan pertama kali pada tahun 1982 di lahan gandum, Australia, pada *Lolium rigidum*. Terdapat 38 spesies gulma yang telah dikonfirmasi mengalami resisten terhadap herbisida metil metsulfuron secara global, antara lain : *Ambrosia artemisiifolia*, *Anthemis cotula*, *Avena fatua*, *Avena sterilis*, *Bacopa rotundifolia*, *Brassica rapa*, *Camelina microcarpa*, *Chamaesyce maculata*, *Clidemia hirta*, *Conyza canadensis*, *Crepis tectorum*, *Descurainia sophia*, *Echium plantagineum*, *Erysimum repandum*, *Euphorbia heterophylla*, *Galeopsis tetrahit*, *Galium spurium*, *Hirschfeldia incana*, *Kochia scoparia*, *Lactuca serriola*, *Lolium rigidum*, *Matricaria recutita*, *Neslia paniculata*, *Papaver rhoeas*, *Pentzia suffruticosa*, *Raphanus raphanistrum*, *Raphanus sativus*, *Sagittaria montevidensis*, *Salsola tragus*, *Senecio vulgaris*, *Silene gallica*, *Sinapis arvensis*, *Sisymbrium orientale*, *Sonchus asper*, *Stellaria media*, *Thlaspi arvense*, *Tripleurospermum perforatum*, dan *Vaccaria hispanica*. Dari ke 38 spesies gulma tersebut, hanya gulma *Bacopa rotundifolia* yang telah dikonfirmasi resisten terhadap herbisida metil metsulfuron pada pertanaman padi sawah (Heap, 2018). Data terbaru kasus resistensi gulma terhadap herbisida metil metsulfuron di areal pertanaman padi sawah ditemukan di Indonesia yaitu pada gulma *Sphenoclea zeylanica* (Prakoso, 2018).

Mekanisme terjadinya resistensi gulma terhadap herbisida metil metsulfuron masih belum banyak terdeteksi, dari ke 38 spesies gulma yang resisten secara global baru satu mekanisme yang terdeteksi yaitu berubahnya target sasaran yang disebabkan oleh modifikasi susunan enzim yang dapat menghalangi masuknya herbisida seperti pada gulma *Kochia scoparia* di Amerika pada tahun 2013 dan *Stellaria media* di Prancis pada tahun 2012 (Heap, 2019).

## 2.8 Aktivitas Fisiologi Tumbuhan

Aktivitas fisiologi tumbuhan dapat diukur dengan mengetahui laju asimilasi CO<sub>2</sub>, konduktansi stomata, dan transpirasi (Tcherkez dan Limami, 2019). CO<sub>2</sub> memiliki peran yang sangat penting dalam proses fotosintesis. CO<sub>2</sub> dapat mempengaruhi metabolisme tanaman sehingga peningkatan CO<sub>2</sub> diperkirakan akan meningkatkan laju fotosintesis (Dusenge *et al.*, 2019).

Fotosintesis tumbuhan salah satunya bergantung pada aliran CO<sub>2</sub> ke dalam sel, dan aliran CO<sub>2</sub> ini tergantung pada mekanisme buka tutup stomata. Pergerakan stomata adalah mekanisme utama dalam mengontrol pertukaran gas dalam tumbuhan, karena hampir semua masuknya CO<sub>2</sub> dan keluarnya air terjadi melalui stomata. Pembukaan dan penutupan stomata adalah proses yang sangat kompleks dalam tumbuhan, keseimbangan antara penyerapan CO<sub>2</sub> dan kehilangan air terjadi melalui lubang stomata (Messinger, 2006).

Pembukaan stomata sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, antara lain intensitas cahaya, temperatur dan air. Faktor – faktor lingkungan tersebut mengalami perubahan seiring dengan bergantinya waktu pagi, siang dan sore hari. Pada pagi hari stomata akan mulai membuka lebar karena intensitas cahaya dan temperature yang tidak terlalu tinggi serta kelembaban yang cukup menyebabkan turgor sel penjaga meningkat. Namun pada saat siang hari, stomata menutup karena tingginya intensitas cahaya dan temperatur serta penguapan air yang berlebihan (Hopkins, 2004). Menurut Ruiz-Sánchez *et al.* (2000), tumbuhan melakukan suatu mekanisme penghindaran atau pencegahan untuk meminimalkan kehilangan air melalui transpirasi ketika stomata tertutup. Menurut Farquhar *et*



*al.* (1982), tingkat penyerapan CO<sub>2</sub> yang tinggi memiliki hubungan langsung dengan hilangnya air melalui transpirasi. Dengan demikian, dengan air yang cukup, konduktansi stomata yang tinggi menyebabkan konsumsi air yang tinggi dan peningkatan pertumbuhan yang positif.

Berdasarkan hasil penelitian Ferrel *et al.* (2004) menyatakan bahwa aplikasi herbisida berbahan aktif halosulfuron golongan penghambat kinerja enzim *acetolactate synthase* (ALS), serta herbisida imazapic dan glifosat dapat mengurangi laju asimilasi karbon dan konduktansi stomata pada *Cyperus esculentus* yang diakibatkan terganggunya pergerakan buka tutup stomata sehingga terjadi pengurangan CO<sub>2</sub> yang diserap dari udara dan air yang keluar dari gulma yang diamati. Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh penelitian Rodrigues *et al.*, (2014) yaitu aplikasi herbisida nicosulfuron pada gulma *Urochloa brizantha* berdampak pada menurunnya aktivitas fisiologi yang diamati (fotosintesis, konduktansi stomata, dan transpirasi).

Hasil penelitian Figueiredo *et al.* (2018) menyatakan bahwa gulma *Amaranthus tuberculatus* resisten herbisida 2,4-D mampu memetabolisme herbisida lebih cepat dibandingkan gulma *A. tuberculatus* sensitif herbisida 2,4-D. Padahal tidak ada perbedaan penyerapan herbisida 2,4-D antara gulma yang resisten dan sensitif. 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 *A. tuberculatus* resisten selama 22 jam.

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus – Desember 2019. Penelitian dilaksanakan di Rumah Kaca Kebun Raya Institut Teknologi Sumatera, Laboratorium Ilmu Gulma Fakultas Pertanian Universitas Lampung, dan Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pot plastik berdiameter 10 cm, oven, timbangan digital, timbangan analitik, *knapsack sprayer*, nozel berwarna merah dengan lebar bidang semprot 2 meter, dan alat uji aktivitas fisiologi (Li-COR 6800 F) untuk mengukur laju asimilasi karbon ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), laju konduktansi stomata ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), dan laju transpirasi ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah herbisida berbahan aktif 2,4-D dengan merek dagang Lindomin 865 SL dan dosis formulasi 1 l/ha, herbisida berbahan aktif metil metsulfuron 20% dengan merk dagang Ally 20 WG dan dosis formulasi 20 g/ha, air, tanah sawah, bibit gulma *S. zeylanica*, dan *L. octovalvis* dengan tinggi  $\pm 10$  cm dan memiliki 5 helai daun atau lebih yang berasal dari

pertanaman padi sawah Desa Tempuran, Kecamatan Trimurjo, Lampung Tengah yang telah terpapar herbisida dan gulma pembanding yang tidak terpapar menggunakan gulma yang berasal dari pertanaman padi sawah Desa Pemanggilan, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan yang belum pernah diaplikasikan herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron.

### **3.3 Metode Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dalam 2 tahap. Pada tahap 1, dilakukan identifikasi resistensi gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* terhadap herbisida berbahan aktif 2,4-D dan metil metsulfuron. Sedangkan pada tahap 2, dilakukan uji aktivitas fisiologi pada gulma yang telah terbukti resisten terhadap herbisida berbahan aktif 2,4-D/metil metsulfuron/keduanya dengan menggunakan alat uji aktivitas fisiologi (Li-COR 6800 F).

### **3.4 Tahap 1 : Identifikasi Resistensi**

Penelitian ini menggunakan Rancangan Petak Terbagi (*Split Plot Design*) dengan 6 perlakuan dan 5 ulangan dengan setiap unit percobaan terdiri dari 1 gulma yang diamati. Rancangan perlakuan tersebut diterapkan secara terpisah untuk masing-masing gulma yaitu *S. zeylanica*, dan *L. octovalvis*. Petak utama adalah asal gulma yang terdiri dari dua lokasi, antara lain : gulma terpapar herbisida 2,4-D ( $A_1$ ) dan metil metsulfuron ( $B_1$ ) serta gulma tidak terpapar herbisida 2,4-D ( $A_2$ ) dan metil metsulfuron ( $B_2$ ). Anak petak adalah tingkatan dosis bahan aktif herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkatan dosis bahan aktif herbisida dalam pengujian resistensi gulma.

Perlakuan	Herbisida 2,4-D	Herbisida Metil Metsulfuron
	Dosis bahan aktif (g/ha)	
D <sub>0</sub>	0	0
D <sub>1</sub>	432,5	2
D <sub>2</sub>	865 (rekomendasi)	4 (rekomendasi)
D <sub>3</sub>	1.730	8
D <sub>4</sub>	3.460	16
D <sub>5</sub>	6.920	32

Tata letak percobaan untuk masing- masing gulma terdapat pada Gambar 7, 8, 9, dan 10.

Ulangan I					
A <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>0</sub>
A <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>1</sub>

Ulangan II					
A <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>2</sub>
A <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>5</sub>

Ulangan III					
A <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>0</sub>
A <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>2</sub>

Ulangan IV					
A <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>1</sub>
A <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>2</sub>

Ulangan V					
A <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>5</sub>
A <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>3</sub>

Gambar 7. Tata letak percobaan resistensi gulma *S. zeylanica* terhadap herbisida 2,4-D. Keterangan : (A<sub>1</sub>) Gulma terpapar herbisida (A<sub>2</sub>) gulma tidak terpapar herbisida. (D<sub>0</sub>) kontrol, (D<sub>1</sub>) 432,5, (D<sub>2</sub>) 865, (D<sub>3</sub>) 1.730, (D<sub>4</sub>) 3.460, dan (D<sub>5</sub>) 6.920 g/ha.

<b>Ulangan I</b>					
A <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>3</sub>
A <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>3</sub>

<b>Ulangan II</b>					
A <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>3</sub>
A <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>3</sub>

<b>Ulangan III</b>					
A <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>5</sub>
A <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>2</sub>

<b>Ulangan IV</b>					
A <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>3</sub>
A <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>1</sub>

<b>Ulangan V</b>					
A <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>6</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> D <sub>5</sub>
A <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> D <sub>3</sub>

Gambar 8. Tata letak percobaan resistensi gulma *L. octovalvis* terhadap herbisida 2,4-D. Keterangan : (A<sub>1</sub>) Gulma terpapar herbisida (A<sub>2</sub>) gulma tidak terpapar herbisida. (D<sub>0</sub>) kontrol, (D<sub>1</sub>) 432,5, (D<sub>2</sub>) 865, (D<sub>3</sub>) 1.730, (D<sub>4</sub>) 3.460, dan (D<sub>5</sub>) 6.920 g/ha.

<b>Ulangan I</b>					
B <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>3</sub>
B <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>3</sub>

<b>Ulangan II</b>					
B <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>0</sub>
B <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>2</sub>

<b>Ulangan III</b>					
B <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>1</sub>
B <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>2</sub>

<b>Ulangan IV</b>					
B <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>0</sub>
B <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>3</sub>

<b>Ulangan V</b>					
B <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>0</sub>
B <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>0</sub>

Gambar 9. Tata letak percobaan resistensi gulma *S. zeylanica* terhadap herbisida metil metsulfuron. Keterangan : (B<sub>1</sub>) Gulma terpapar herbisida (B<sub>2</sub>) gulma tidak terpapar herbisida. (D<sub>0</sub>) kontrol, (D<sub>1</sub>) 2, (D<sub>2</sub>) 4, (D<sub>3</sub>) 8, (D<sub>4</sub>) 16, dan (D<sub>5</sub>) 32 g/ha.

Ulangan I					
B <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>1</sub>
B <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>3</sub>

Ulangan II					
B <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>2</sub>
B <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>5</sub>

Ulangan III					
B <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>1</sub>
B <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>2</sub>

Ulangan IV					
B <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>3</sub>
B <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>1</sub>

Ulangan V					
B <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>1</sub> D <sub>4</sub>
B <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>0</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	B <sub>2</sub> D <sub>5</sub>

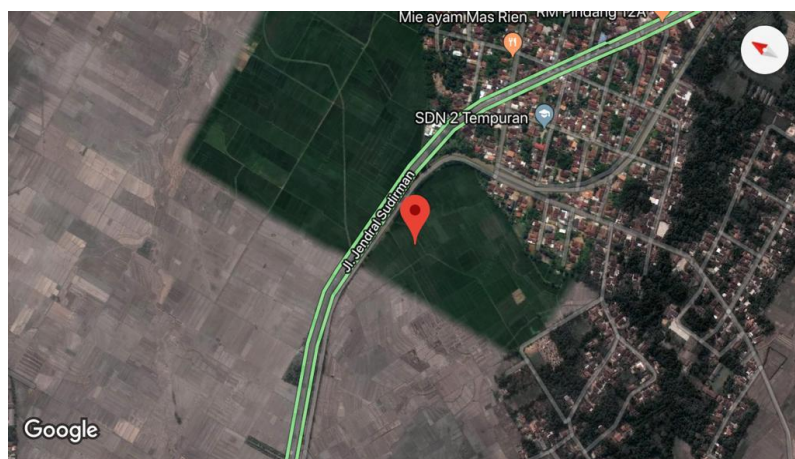
Gambar 10. Tata letak percobaan resistensi gulma *L. octovalvis* terhadap herbisida metil metsulfuron. Keterangan : (B<sub>1</sub>) Gulma terpapar herbisida (B<sub>2</sub>) gulma tidak terpapar herbisida. (D<sub>0</sub>) kontrol, (D<sub>1</sub>) 2, (D<sub>2</sub>) 4, (D<sub>3</sub>) 8, (D<sub>4</sub>) 16, dan (D<sub>5</sub>) 32 g/ha.

### 3.4.1 Pelaksanaan Penelitian

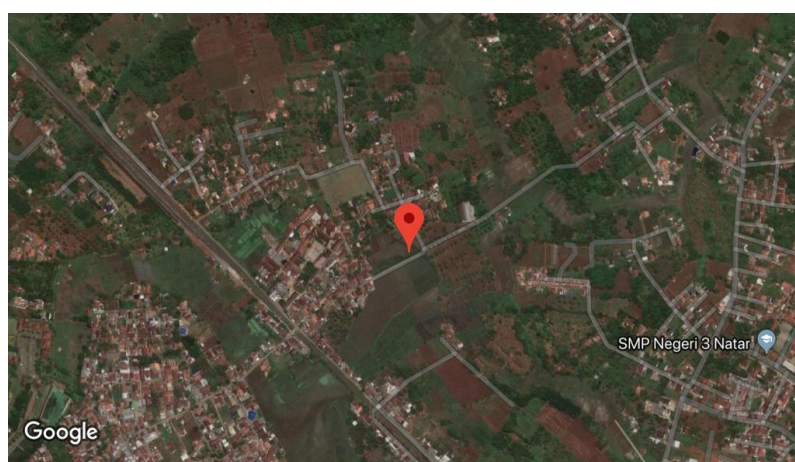
#### 3.4.1.1 Survei Lapang

Tujuan dilakukan kegiatan ini adalah untuk mengumpulkan informasi mengenai keanekaragaman jenis gulma yang diduga mengalami resistensi terhadap herbisida berbahan aktif 2,4-D dan metil metsulfuron. Survei gulma terpapar dilakukan di wilayah Desa Tempuran, Kecamatan Trimurjo, Kabupaten Lampung Tengah (Gambar 11). Berdasarkan hasil survei yang dilakukan, gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* sering terpapar herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron, sehingga dilakukan pengujian resistensi terhadap herbisida pada kedua gulma tersebut. Sebagai pembanding, survei gulma yang tidak terpapar dilakukan pada pertanaman padi sawah di wilayah Desa Pemanggilan, Kecamatan Natar,

Kabupaten Lampung Selatan yang belum pernah diaplikasikan herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron dikarenakan luas lahan yang sedikit sehingga hanya menggunakan pengendalian secara mekanis (Gambar 12).



Gambar 11. Lokasi survei dan pengambilan sampel gulma terpapar herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron ( $5^{\circ}08'21''\text{S}$ ,  $105^{\circ}15'56''\text{E}$ ).



Gambar 12. Lokasi survei dan pengambilan sampel gulma tidak terpapar herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron ( $5^{\circ}20'37''\text{S}$ ,  $105^{\circ}13'39''\text{E}$ ).

#### 3.4.1.2 Pengambilan Sampel Gulma

Pengambilan gulma dilakukan pada lokasi yang telah disurvei sebelumnya.

Gulma yang diambil berupa bibit dengan tinggi  $\pm 10$  cm dan memiliki 5 helai daun atau lebih. Pengambilan bibit dilakukan secara hati-hati dengan

menggunakan sekop kecil dan dilakukan dengan cara mengangkat bibit gulma beserta tanah sawah di sekitar akarnya kemudian dipindahkan ke dalam plastik dan diberi air untuk menghindari stress pada gulma.

#### *3.4.1.3 Penanaman dan Pemeliharaan Gulma*

Gulma yang diambil dalam langsung dipindahkan pada pot plastik berdiameter 10 cm berisi media tanah sawah Desa Tempuran, Kecamatan Trimurjo, Kabupaten Lampung Tengah untuk gulma terpapar dan media tanah sawah Desa Pemanggilan, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan untuk gulma tidak terpapar. Gulma ditanam sebanyak satu gulma per pot plastik di rumah kaca Kebun Raya Institut Teknologi Sumatera. Gulma yang telah ditanam pada pot plastik dipelihara agar tumbuh dengan baik. Pemeliharaan dilakukan dengan penyiraman dan pembersihan gulma lain di sekitar gulma yang diteliti. Pemeliharaan tersebut dilakukan setiap hari selama penelitian berlangsung.

#### *3.4.1.4 Aplikasi Herbisida*

Sebelum herbisida diaplikasikan, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi. Hal ini dilakukan agar setiap satuan percobaan mendapat jumlah herbisida yang sama sesuai perlakuan. Kalibrasi dilakukan dengan metode luas menggunakan nosel merah (bidang semprot 2 m) pada plot yang berukuran 2 m x 5 m dan diperoleh volume semprot sebesar 500 l/ha. Aplikasi herbisida dilakukan pada saat gulma telah berumur  $\pm 7 - 14$  hari setelah pindah tanam atau sudah mencapai ketinggian  $\pm 20$  cm dan 10 helai daun. Aplikasi dilakukan pagi hari dengan menggunakan *knapsack sprayer* sesuai dengan dosis yang telah ditentukan. Penyemprotan



dilakukan dengan beberapa tingkatan dosis, dimulai dari dosis terendah sampai pada dosis tertinggi.

### **3.4.2 Variabel Pengamatan**

#### *3.4.2.1 Persen Keracunan*

Penentuan persen keracunan dilakukan dengan membandingkan gulma yang diberi perlakuan herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron 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 diamati dengan menggunakan metode visual yang dilakukan oleh dua orang. Pengamatan dimulai hari ke-2 setelah aplikasi herbisida (HSA) hingga 14 HSA dengan selang waktu 2 hari. Pengamatan tingkat keracunan tanaman mengacu pada aturan Direktorat Pupuk dan Pestisida (2012) dalam metode standar pengujian efikasi herbisida :

0 – 5% = bentuk, warna daun, dan pertumbuhan gulma tidak normal sebesar 0 – 5%.

>5 – 20% = bentuk, warna daun, dan pertumbuhan gulma tidak normal sebesar 5 – 20%.

>20 – 50% = bentuk, warna daun, dan pertumbuhan gulma tidak normal sebesar 20 – 50%.

>50 – 75% = bentuk, warna daun, dan pertumbuhan gulma tidak normal sebesar 50 – 75%.

>75% = bentuk, warna daun, dan pertumbuhan gulma tidak normal sebesar >75%.

### 3.4.2.2 *Bobot Kering Gulma*

Pemanenan dilakukan pada akhir pengamatan pada 14 HSA. 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.

### 3.4.3 Analisis Data Resistensi Gulma

#### 3.4.3.1 *Waktu Meracuni (LT<sub>50</sub>)*

*Median lethal time (LT<sub>50</sub>)* adalah waktu yang dibutuhkan setiap herbisida untuk meracuni gulma sebesar 50 %. Nilai LT<sub>50</sub> diperoleh melalui persamaan regresi linear sederhana, yaitu  $y = a + bx$ , di mana nilai  $y$  merupakan nilai probit pada persen keracunan gulma dan  $x$  adalah log hari setelah aplikasi (HSA) herbisida, kemudian setelah nilai  $x$  diketahui maka LT<sub>50</sub> dapat diketahui dengan antilog nilai  $x$  tersebut (Guntoro dan Fitri, 2013).

#### 3.4.3.2 *Dosis Efektif (ED<sub>50</sub>)*

*Median effective dose (ED<sub>50</sub>)* merupakan banyaknya dosis herbisida yang menyebabkan penekanan gulma hingga 50%. Data bobot kering gulma yang diperoleh kemudian dikonversi 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 = nilai bobot kering gulma kontrol

Persen kerusakan ditransformasi kedalam nilai probit dengan bantuan tabel probit.

Taraf dosis yang diuji diubah kedalam 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).

#### 3.4.3.3 Nisbah Resistensi (NR)

Nisbah Resistensi merupakan nilai dari perbandingan  $ED_{50}$  gulma terpapar dengan

pembanding (non-terpapar herbisida). Berdasarkan nilai NR gulma ini dapat

diketahui status resistensi gulma terpapar herbisida secara terus-menerus dalam

waktu yang lama. 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 Tahap 2 : Uji Aktivitas Fisiologi

Gulma yang sudah terbukti resisten dan sensitif kemudian ditanam kembali

dengan metode yang sama dengan penelitian tahap 1 untuk dijadikan sampel

analisis aktivitas fisiologinya antara lain laju asimilasi karbon ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ),

laju konduktansi stomata ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), dan laju transpirasi ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}$

$s^{-1}$ ). Pengukuran aktivitas fisiologi gulma dilakukan pada 4, 8, 12 HSA dengan menggunakan alat Li-COR 6800 F (Gambar 13).



Gambar 13. Li-COR 6800 F

### 3.5.1 Pengamatan Aktivitas Fisiologi

Gulma yang menjadi objek pengamatan aktivitas fisiologi diberi label pada daun kedua dan ketiga yang telah membuka penuh sebagai tanda sampel daun yang akan diamati. Variabel aktivitas fisiologi yang diamati yaitu laju asimilasi karbon ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), laju konduktansi stomata ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), dan laju transpirasi ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

### 3.5.2 Analisis Data Aktivitas Fisiologi

Data hasil aktivitas fisiologi gulma resisten dan sensitif yang meliputi laju asimilasi karbon ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), laju konduktansi stomata ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), dan laju transpirasi ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) dianalisis serta dicari *standard error mean* (SEM), kemudian dibuat kurva untuk mengetahui perbedaan aktivitas fisiologi yang terjadi antara gulma resisten dan sensitif.

## V. KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Gulma yang terpapar 2,4-D memerlukan waktu yang lebih lama untuk teracuni sebanyak 50% dengan nilai  $LT_{50}$  (*Median Lethal Time*) atau kecepatan meracuni pada dosis 865 g/ha gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* berturut-turut 7,97 dan 5,28 hari, sedangkan gulma tidak terpapar berturut-turut 6,21 dan 4,29 hari.
2. Gulma yang terpapar metil metsulfuron memerlukan waktu yang lebih lama untuk teracuni sebanyak 50% dengan nilai  $LT_{50}$  pada dosis 4 g/ha gulma *S. zeylanica* dan *L. octovalvis* berturut-turut 22,11 dan 2,86 hari, sedangkan gulma tidak terpapar berturut-turut 5,38 dan 2,02 hari.
3. Gulma *S. zeylanica* terpapar 2,4-D memerlukan dosis yang lebih tinggi untuk penekanan gulma sebesar 50% dengan nilai  $ED_{50}$  (*Median Effective Dose*) sebesar 313,58 g/ha, sedangkan gulma tidak terpapar sebesar 142,91 g/ha. Gulma *L. octovalvis* terpapar 2,4-D memiliki nilai  $ED_{50}$  yang sama dengan *L. octovalvis* tidak terpapar 2,4-D sebesar 84,92 g/ha.
4. Gulma yang terpapar metil metsulfuron memerlukan dosis yang lebih tinggi untuk penekanan gulma sebesar 50% dengan nilai  $ED_{50}$  gulma *S. zeylanica* dan

*L. octovalvis* berturut-turut 5,72 dan 3,17 g/ha, sedangkan gulma tidak terpapar berturut-turut 1,99 dan 1,99 g/ha.

5. Gulma *S. zeylanica* terpapar telah mengalami resistensi rendah terhadap herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron dengan nilai nisbah resistensi (NR) masing-masing 2,19 dan 2,87. Gulma *L. octovalvis* terpapar masih tergolong sensitif terhadap herbisida 2,4-D dan metil metsulfuron dengan nilai nisbah resistensi (NR) masing-masing 1,00 dan 1,59.
6. Aktivitas fisiologi (laju asimilasi karbon, konduktansi stomata, dan transpirasi) *S. zeylanica* resisten herbisida 2,4-D ataupun metil metsulfuron lebih tinggi dibandingkan *S. zeylanica* yang sensitif herbisida 2,4-D ataupun metil metsulfuron.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang diberikan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan uji resistensi pada turunan gulma *S. zeylanica* resisten untuk melihat pewarisan sifat resisten terhadap herbisida 2,4-D ataupun metil metsulfuron.
2. Melakukan uji biomolekuler pada gulma *S. zeylanica* resisten untuk mendeteksi keberadaan gen toleran herbisida pada gulma.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad-Hamdani, M.S., M.J. Owen, Q. Yu, and S.B. Powles. 2012. ACCase inhibiting herbicide-resistant *avena spp.* populations from the western australian grain belt. *Weed Technology*. 26 : 130–136.
- Anonim. 2019. The Industry Task Force II on 2,4-D Research Data. <http://www.24d.org>. Diakses pada 4 Agustus 2019.
- Antralina, M., I.N. Istina, Y. Yuwariah, and T. Simarmata. 2015. Effect of difference weed control methods to yield of lowland rice In the SOBARI. *Procedia Food Science*. 3 : 323–329.
- Apriadi, W., D.R.J. Sembodo, dan H. Susanto. 2013. Efikasi herbisida 2,4-d terhadap gulma pada budidaya tanaman padi sawah (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*. 1(3) : 269-276.
- Baumann, P.A. 2004. Weed Resistance to Herbicides. <http://publications.tamu.edu>. Diakses pada 3 Agustus 2019.
- Bhatla, S.C. 2018. *Plant Physiology in Agriculture and Biotechnology*. Springer Nature. Singapore. 1167–1188 pp.
- BPS. 2018. Pengeluaran Untuk Konsumsi Penduduk di Indonesia. <http://www.bps.go.id>. Diakses pada 3 Agustus 2019.
- BPS. 2018. Impor Beras Menurut Negara Asal Utama. <http://www.bps.go.id>. Diakses pada 3 Agustus 2019.
- Boby. 2019. 7 Negara Produsen Beras Dunia. <https://lifepal.co.id/media/negara-produsen-beras-dunia/>. Diakses pada 3 Agustus 2019.
- Caballero, J.R., J. Menendez, J.G. Bordonaba, M. Salas, R. Alcantara, and J. Torra. 2016. Unravelling the resistance mechanisms to 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) in corn poppy (*Papaver rhoeas*). *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 133 : 67-72.

- Campbell, J., C. Mallory-Smith, A. G. Hulting, and C. E. Weber. 2011. *Herbicide Resistant Weeds And Their Management*. Departement of Crop and soil Science. The University of Georgia Tifton.
- Carvalho, S.J.P.D., M. Nicolai, R.R. Ferreira, A. Figueira, and P. Christoffoleti. 2009. Herbicide selectivity by differential metabolism: Considerations for reducing crop damages. *Scientia Agricola*. 66 : 136–142.
- Caton, B.P., M. Mortimer, J.E. Hill, and E. Johnson. 2010. *A Practical Field Guide to Weeds of Rice in Asia. 2nd Edition*. International Rice Research Institute. Los Banos. 118 p.
- Chairul, S.M., Mulyadi, dan Idawati. 2000. Translokasi Herbisida 2,4-D pada Tanaman Gulma dan Padi pada Sistem Persawahan. *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi*. 1(1) : 1-5.
- Chinalia, F. A., M. H. Regali-Seleghin, and E. M. Correa. 2007. 2,4-D toxicity: cause, effect and control. *Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology*. 1(2) : 24-33.
- Davies, F.S. and J.A. Flore. 1986. Flooding, Gas exchange and hydraulic root conductivity of highbush blueberry. *Physiologia Plantarum*. 67 : 545–551.
- DellaFerrera, I., E. Cortes, E. Panigo, R.D. Prado, P. Christoffoleti, and M. Parreta. 2018. First report of *Amaranthus hybridus* with multiple resistance to 2,4-D, dicamba, and glyphosate. *Agronomy*. 8(8) : 140.
- Direktorat Pupuk dan Pestisida. 2012. *Metode Standar Pengujian Efikasi Herbisida*. Direktorat Sarana dan Prasarana Pertanian. Jakarta. 229 hlm.
- Direktorat Pupuk dan Pestisida. 2016. *Pestisida Pertanian dan Kehutanan*. Direktorat Sarana dan Prasarana Pertanian. Jakarta. 1.096 hlm.
- Djojosumarto, P. 2008. *Pestisida dan Aplikasinya*. PT. Agromedia Pustaka. Jakarta. 340 hlm.
- Dusenge, M.E., A.G. Duarte, and D.A. Way. 2019. Plant carbon metabolism and climate change: elevated CO<sub>2</sub> and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration. *New Phytologist*. 221 : 32–49.
- Evans, J.R., R. Kaldenhoff, B. Genty, and I. Terashima. 2009. Resistances along the CO<sub>2</sub> diffusion pathway inside leaves. *Journal of Experimental Botany*. 60(8) : 2235-2248.
- Farquhar, G.D. and D.S. Thomas. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*. 33 : 317-345.



- Ferrell, J.A., J.H. Earl, and W.K. Vencill. 2004. Duration of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) competitiveness after herbicide treatment. *Weed Science*. 52 : 24–27.
- Figueiredo, M.R., L.J. Leibhart, Z.J. Reicher, P.J. Tranel, S.J. Nissen, P. Westra, and M. Jugalam. 2018. Metabolism of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid contributes to resistance in a common waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) Population. *Pest Management Science*. 74(10) : 2356–2362.
- Ginting, C. 2013. *Ilmu Penyakit Tumbuhan : Konsep dan Aplikasi*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. Bandar Lampung. 203 hlm.
- Ginting, K.A., E. Purba, dan J. Ginting. 2015. Identifikasi gulma resisten herbisida paraquat pada lahan jagung di kecamatan tigabinanga kabupaten karo. *Jurnal Agroteknologi*. 3(2) : 679-686.
- Goggin D.E., G.R. Cawthray, and S.B. Powles. 2016. 2,4-D resistance in wild radish: reduced herbicide translocation via inhibition of cellular transport. *Journal of Experimental Botany*. 67 : 3223–3235.
- Guntoro, D. dan T. Y. Fitri. 2013. Aktivitas herbisida campuran bahan aktif cyhalofop – butyl dan penoxulam terhadap beberapa jenis gulma padi sawah. *Buletin Agrohorti*. 1(1) : 140–148.
- Heap, I. 2014. Herbicide Resistant Weeds. *Journal of Integrated Pest Management*. 281-301.
- Heap, I. 2018. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.com/>. Diakses pada 1 Maret 2019.
- Heap, I. 2019. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.com/>. Diakses pada 3 Maret 2019.
- Holm, L., J. Doll, H. Eric, J. Panco, and J. Herberger. 1997. *World Weed Natural Histories and Distribution*. Ind Wirley Press. New York. 1152 hlm.
- Hopkins, W.G. 2004. *Introduction to Plant Physiology*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- IRRI. 2016. Main weeds of rice in Asia. <http://www.knowledgebank.irri.org>. Diakses pada 5 Februari 2020.
- Jamilah. 2013. Pengaruh penyiangan gulma dan system tanam terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi sawah. *Jurnal Agrista*. 17(1) : 28-34.
- Jervais, G., B. Luukinen, K. Buhl, and D. Stone. 2008. *2,4-D Technical Fact Sheet*. National Pesticide Information Center. Oregon State University Extension Services. USA.

- Koriyando, V., H. Susanto, Sugiatno, dan H. Pujisiswanto. 2014. Efikasi herbisida metil metsulfuron untuk mengendalikan gulma pada tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) menghasilkan. *Jurnal Agrotek Tropika*. 2(3) : 375-381.
- Kurniati, H. 2018. Efikasi herbisida natrium bispiribak terhadap pertumbuhan gulma, tanaman, dan hasil padi sawah (*Oryza sativa* L.). *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 73 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. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 67(5) : 1353–1359.
- Manalil, S. 2015. An analysis of polygenic herbicide resistance evolution and its management based on a population genetics approach. *Basic and Applied Ecology*. 16 : 104–111.
- McCullough, P.E., J.S. McElroy, J. Yu, H. Zhang, T.B. Miller, S. Chen, C.R. Johnston, and M.A. Czarnota. 2016. ALS-Resistant Spotted Spurge (*Chamaesyce maculata*) Confirmed in Georgia. *Weed Science*. 64(2) : 216-222.
- Messinger, S.M. 2006. Evidence for involvement of photosynthetic processes in the stomatal response to CO<sub>2</sub>. *Plant Physiology*. 12(2) : 771–778.
- Monaco, T.J., S.C. Weller, and F.M. Ashton. 2002. *Weed Science : Principles and Practices 4th edition*. John Wiley and Sons Inc. USA. 688 p.
- Nandula, V.K. 2010. *Herbicide resistance: definitions and concepts. Chapter 2 in V. K. Nandula, ed. Glyphosate Resistance in Crops and Weeds*. Hoboken. NJ: J. Wiley. 35-43.
- Neve, P. 2007. Challenges for herbicide resistance evolution and management: 50 years after Harper. *Weed Research*. 47 : 365–369.
- Noviasman, S. 2019. Efikasi herbisida (metil metsulfuron 20%) terhadap gulma *Cyperus difformis* pada padi sawah (*Oryza sativa* L.). *Diploma Thesis*. Universitas Andalas. Padang.
- Nufarm. 2012. Herbisida Rhodiamine 865 SL. <https://nufarm.com/id/product/rhodiamine-865-sl/>. Diakses pada 5 Februari 2020.
- Pane, H. dan S.Y. Jatmiko. 2009. Pengendalian gulma pada tanaman Padi. *Jurnal Balai Besar Penelitian Tanaman Padi*. 21(3) : 267-293.

- Peltzer, S. 2020. How does a weed become resistant to a herbicide.  
<https://www.agric.wa.gov.au/grains-research-development/herbicide-resistance?page=0%2C1>. Diakses 26 April 2020.
- Pitoyo, J. 2006. Mesin penyiang gulma padi sawah bermotor. *Tabloid Sinar Tani*. 7 : 5-11.
- Pracaya. 2007. *Hama dan Penyakit Tanaman (Edisi Revisi)*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Prakoso, G.E. 2018. Studi Resistensi Beberapa Jenis Gulma Padi Sawah Terhadap Herbisida Metil Metsulfuron dan 2,4-D. *Tesis*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 106 hlm.
- Pujiswanto, H. 2012. Kajian daya racun cuka (asam asetat) terhadap pertumbuhan gulma pada persiapan lahan. *Agrin*. 16(1) : 40-48.
- Purba, E. 2009. Keanekaragaman Herbisida Dalam Pengendalian Gulma Mengatasi Populasi Gulma Resisten dan Toleran Herbisida. *Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap Universitas Sumatera Utara*. Medan.
- Ramadhani, K. 2018. Efikasi Herbisida Campuran Pirazosulfuron+Pendimetalin Terhadap Pertumbuhan Gulma, Tanaman, dan Hasil Padi Sawah (*Oryza sativa* L.) *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 50 hlm.
- Riar, D.S., P. Tehranchian, J.K. Norsworthy, V. Nandula, S. McElroy, V. Srivastava, S. Chen, and R.C. Scott .2015. Acetolactate synthase–inhibiting herbicide resistant rice flatsedge (*Cyperus iria*): cross resistance and molecular mechanisms of resistance. *Weed Science*. 63 : 748–757.
- Rijin, P.J.V. 2000. *Weed Management in The Humid ang Sub humid Tropics*. Royal Tropical Institute Amsterdam. Netherland.
- Rodrigues, O. L., J.C.C. Galvão, E.A. Ferreira, D.V. Silva, M.V. Santos, L.R. Ferreira, R.C. Pereira, and R.S. Felipe. 2014. Physiologic characteristics of corn and *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster in intercropping cultivation. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 74(3) : 257-262.
- Ruiz-Sánchez, M.C., R. Domingo, A. Torrecillas, and A. Pérez-Pastor. 2000. Water stress preconditioning to improve drought resistance in young apricot plants. *Plant Science*. 156 : 245-251.
- Santhakumar. 2012. *Herbicide-Resistance Management in Developing Countries in Weed Management for Developing Countries*. FAO Plant Production and Protection Paper. 120 hlm.

- Saputri, M.S. 2019. Efikasi herbisida (metil metsulfuron 20%) terhadap gulma genjer (*Limnocharis flava* L.) pada budidaya padi sawah (*Oryza sativa* L.). *Diploma Thesis*. Universitas Andalas. Padang.
- Sari, R.P.K. 2019. Identifikasi Resistensi Beberapa Gulma di Perkebunan Nanas Lampung Tengah dan Kelapa Sawit Lampung Selatan Terhadap Herbisida Diuron dan Glifosat. *Tesis*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 99 hlm.
- Sembodo, D.R.J. 2010. *Gulma dan Pengelolaannya*. Graha Ilmu. Yogyakarta. 163 hlm.
- Senseman, S.A. 2007. *Herbicide Handbook (Ninth edition)*. Weed Science Society of America. 546 p.
- Silva, D.R.O., L. Vargas, D. Agostinetto, and F.M. Santos. 2017. Photosynthetic performance of glyphosate resistant and glyphosate susceptible hairy fleavane under light intensity. *Planta Daninha*. 35 : 3–8.
- Stachler, J.M., J.J. Kells, and D. Penner. 2000. Resistance of wild carrot (*Daucus carota*) to 2,4-D in Michigan. *Weed Technology*. 14 : 734–739.
- Steinmaus, S.J., T.S. Prather, and J.S. Holt. 2000. Estimation of base temperatures for nine weed species. *Journal of Experimental Botany*. 343 : 275–286.
- Stoynova, E., P. Petrov, and S. Semerdjieva. 1997. Some effects of chlorsulfuron on the ultrastructure of root and leaf cells in pea plants. *Journal of Plant Growth Regulation*. 16 : 1-5.
- Switzer, C.M. 1957. The existence of 2,4-D-resistant strains of wild carrot. Proc. Northeast. *Weed Control*. 11 : 315–318.
- Tcherkez, G. and A.M. Limami. 2019. Net photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation: more than just CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> reduction cycles. *New Phytologist*. 1–10.
- Tomlin, C.D.S. 2010. *A World Compendium The e-Pesticide Manual*. British Crop Protection Council (BCPC). England. 1606 p.
- Tu, M., C. Hurd, and J. M. Randall. 2001. *Weed Control Methods Handbook : Tools & Techniques for Use in Natural Areas*. The Nature Conservancy. USA. 220 p.
- Usui, Y. and T. Kasubuchi. 2011. Effects of herbicide application on carbon dioxide, dissolved oxygen, pH, and RpH in paddy-field ponded water. *Soil Science and Plant Nutrition*. 57 : 1–6.

- Utama, M. Z. H. 2015. *Budidaya Padi pada Lahan Marjinal*. CV. Andi Offset. Yogyakarta. 316 hlm.
- Vencill, W.K., R.L. Nichols, T.M. Webster, J.K. Soteris, C.M. Smith, N.R. Burgos, W.G. Johnson, and M.R. McClelland. 2012. Herbicide resistance: toward an understanding of resistance development and the impact of herbicide-resistant crop. *Weed Science Society of America*. 60(sp1) : 2-30.
- Wahyuni, W.S. 2005. *Dasar-dasar virologi tumbuhan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Yanuarti, A.R. dan M.D. Afsari. 2016. *Profil Komoditas Barang Kebutuhan Pokok dan Barang Penting Komoditas Beras*. Rineke Cipta. Jakarta.