

**STUDI RESISTENSI BEBERAPA JENIS GULMA PADI SAWAH
TERHADAP HERBISIDA METIL METSULFURON
DAN 2,4-D**

(Tesis)

Oleh

GREGORIUS EDO PRAKOSO



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRACT

THE STUDY OF RESISTANCE OF SEVERAL TYPES OF RICE FIELD WEEDS TO METHYL METSULFURON and 2,4-D HERBICIDES

By

Gregorius Edo Prakoso

Weed resistance to herbicides arises from the use of certain types of herbicides continuously and over long periods of time. Methyl metsulfuron and 2,4-D herbicides have long been used in wetland rice in Indonesia with a high enough intensity. However, the case of weed resistance to methyl metsulfuron and 2,4-D in Indonesia has not been widely reported and investigated. The study aims to determine (1) the resistance of *Sphenoclea zeylanica* and *Monochoria vaginalis* to methyl metsulfuron herbicide, (2) the resistance of *Cyperus difformis* to 2,4-D herbicide, (3) the differences of agronomic trait of *Sphenoclea zeylanica*, *Monochoria vaginalis* and *Cyperus difformis* that are resistant to methyl metsulfuron herbicides and the sensitive ones. The research was arranged in Split Plot design with six replications. The main plot was the origin of weed : exposed and not exposed to herbicides. For methyl metsulfuron study, *Sphenoclea zeylanica* and *Monochoria vaginalis* weed species were used, while for 2,4-D

study *Cyperus difformis* was used. The subplot has the dose of methyl metsulfuron herbicide : 0, 4, 8, 16, 32, 64, and 128 g/ha, whereas for the dose of 2,4-D herbicide consists of 0, 865, 1730, 3460, 6920, 13840, and 27680 g/ha. The results showed that (1) *Sphenoclea zeylanica* exposed to methyl metsulfuron showed high level of resistance to the methyl metsulfuron herbicide with a resistance ratio of 131, whereas *Monochoria vaginalis* exposed to methyl metsulfuron was classified as sensitive to methyl metsulfuron herbicide with a resistance ratio of 1, (2) 2,4-D exposed to *Cyperus difformis* was still sensitive to 2,4-D herbicide with a resistance ratio of 1,4, (3) Resistance to methyl metsulfuron was not found in *Monochoria vaginalis* and no resistance to 2,4-D was found in *Cyperus difformis*, (4) Resistance to methyl metsulfuron caused the dry weight and chlorophyll content of *Sphenoclea zeylanica* higher than the sensitive *Sphenoclea zeylanica*.

Key words : herbicide resistance, *Sphenoclea zeylanica*, *Monochoria vaginalis*, *Cyperus difformis*, methyl metsulfuron, 2,4-D.

ABSTRAK

STUDI RESISTENSI BEBERAPA JENIS GULMA PADI SAWAH TERHADAP HERBISIDA METIL METSULFURON DAN 2,4-D

Oleh

GREGORIUS EDO PRAKOSO

Resistensi gulma terhadap herbisida muncul akibat dari penggunaan jenis herbisida tertentu secara terus menerus dan dalam jangka waktu yang lama. Herbisida metil metsulfuron dan 2,4-D sudah lama digunakan pada padi sawah di Indonesia dengan intensitas yang cukup tinggi. Namun demikian, kasus resistensi gulma terhadap metil metsulfuron dan 2,4-D di Indonesia belum banyak dilaporkan dan diteliti. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui (1) adanya resistensi *Sphenoclea zeylanica* dan *Monochoria vaginalis* terhadap herbisida metil metsulfuron, (2) adanya resistensi *Cyperus difformis* terhadap herbisida 2,4-D, dan (3) perbedaan sifat agronomis *Sphenoclea zeylanica*, *Monochoria vaginalis* dan *Cyperus difformis* yang resisten akibat terpapar herbisida metil

metsulfuron dan 2,4-D dengan gulma yang tidak terpapar herbisida metil metsulfuron dan 2,4-D. Percobaan disusun dalam Rancangan Petak Terbagi (*Split Plot Design*) dengan 6 ulangan. Petak utama adalah tempat asal gulma yaitu gulma terpapar dan tidak terpapar herbisida, untuk percobaan metil metsulfuron digunakan gulma *Sphenoclea zeylanica* dan *Monochoria vaginalis*, sedangkan untuk percobaan 2,4-D digunakan gulma *Cyperus difformis*. Anak petak adalah dosis herbisida, untuk metil metsulfuron terdiri dari 7 dosis yaitu 0, 4, 8, 16, 32, 64, dan 128 g/ha, sedangkan untuk dosis 2,4-D terdiri dari 7 dosis yaitu 0, 865, 1730, 3460, 6920, 13840, dan 27680 g/ha. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) *Sphenoclea zeylanica* yang terpapar metil metsulfuron menunjukkan resistensi tingkat tinggi terhadap herbisida metil metsulfuron dengan nisbah resistensi 131, sedangkan *Monochoria vaginalis* yang terpapar metil metsulfuron tergolong sensitif terhadap herbisida metil metsulfuron dengan nisbah resistensi 1, (2) *Cyperus difformis* yang terpapar 2,4-D tergolong sensitif terhadap herbisida 2,4-D dengan nisbah resistensi 1,4, (3) Resistensi terhadap metil metsulfuron tidak ditemukan pada *Monochoria vaginalis* dan tidak ditemukan resistensi terhadap 2,4-D pada *Cyperus difformis*, dan (4) Resistensi terhadap metil metsulfuron menyebabkan bobot kering dan tingkat kehijauan daun pada *Sphenoclea zeylanica* lebih tinggi dibandingkan dengan *Sphenoclea zeylanica* yang tidak terpapar dan sensitif terhadap metil metsulfuron.

Kata kunci : resistensi herbisida, *Sphenoclea zeylanica*, *Monochoria vaginalis*, *Cyperus difformis*, metil metsulfuron, 2,4-D.

**STUDI RESISTENSI BEBERAPA JENIS GULMA PADI SAWAH
TERHADAP HERBISIDA METIL METSULFURON DAN 2,4-D**

Oleh

Gregorius Edo Prakoso

Tesis

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

pada

**Program Studi Magister Agronomi
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Tesis : **STUDI RESISTENSI BEBERAPA JENIS
GULMA PADI SAWAH TERHADAP
HERBISIDA METIL METSULFURON DAN
2,4-D**

Nama Mahasiswa : **Gregorius Edo Prakoso**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1424011005**

Program Studi : **Magister Agronomi**

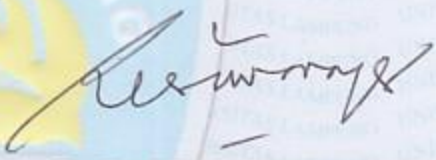
Fakultas : **Pertanian**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

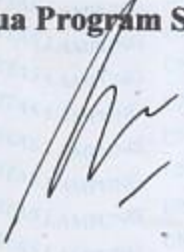


Prof. Dr. Ir. Nanik Sriyani, M.Sc.
NIP 196201011986032001



Ir. Dad R. J. Sembodo, M.S.
NIP 196204221986031001

2. Ketua Program Studi Magister Agronomi

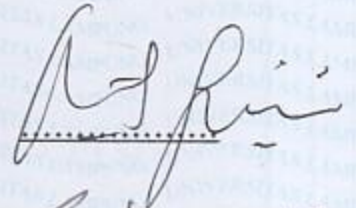


Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc.
NIP 196108031986032002

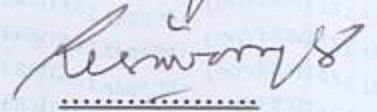
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

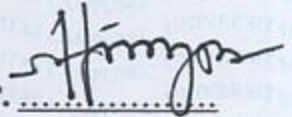
Ketua : **Prof. Dr. Ir. Nanik Sriyani, M.Sc.**



Sekretaris : **Ir. Dad R. J. Sembodo, M.S.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Hidayat Pujiswanto, S.P., M.P.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP.19611020 198603 1 002

3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung



Prof. Drs. Mustofa, MA., Ph.D.
NIP 19570101 198403 1 020

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **26 Juli 2018**

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

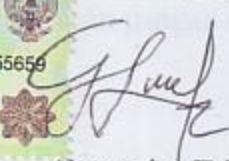
1. Thesis dengan judul **“STUDI RESISTENSI BEBERAPA JENIS GULMA PADI SAWAH TERHADAP HERBISIDA METIL METSULFURON DAN 2,4-D”** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atas karya penulis lain dengan cara tidak sesuai dengan norma etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Pembimbing penulis thesis ini berhak mempublikasikan sebagian atau seluruh thesis 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 bersedia dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Juli 2018

Pembuat Pernyataan,




Gregorius Edo Prakoso
NPM 1424011005

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kelurahan Bandar Jaya Barat, Kecamatan Terbanggi Besar Lampung Tengah pada tanggal 26 Mei 1990, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Rafael Susanto dan Ibu Cecilia Kasminah.

Penulis menyelesaikan Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) Pamerdisiwi Bandar Jaya tahun 1995, Sekolah Dasar (SD) di SDK 3 Bandar Jaya pada tahun 2002, Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama (SLTP) di SLTPN 3 Terbanggi Besar pada tahun 2005, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Terbanggi Besar pada tahun 2008.

Tahun 2008, penulis terdaftar sebagai mahasiswa S1 Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Lampung dan menyelesaikan pendidikan sarjana pertanian tahun 2012. Tahun 2013, penulis mengikuti Program Calon Pendidik Akademi Komunitas Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi. Tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa S2 Program Pascasarjana Magister Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Penulis aktif dalam kegiatan pendampingan petani tanaman pangan di Kabupaten Lampung Tengah.

"Janganlah hendaknya kamu kuatir tentang apapun juga, tetapi nyatakanlah dalam segala hal keinginanmu kepada Allah dalam doa dan permohonan dengan ucapan syukur."

Filipi 4 :6

"Penemuan terbesar sepanjang masa adalah bahwa seseorang yang bisa mengubah masa depannya hanya dengan mengubah sikapnya saat ini"

Oprah Winfrey

"Tak masalah jika kamu menghadapi kegagalan, keberanian untuk melanjutkan itulah yang lebih penting. Meski saat itu dunia seakan terasa hancur bagimu, yakinlah kalau suatu saat, kamu bisa tersenyum mengingatnya "

Winston S. Churchill

"Untuk berhasil, jangan pernah menunggu kesempatan baru kamu bergerak, Bergeraklah dan lakukan yang terbaik. Kamu bisa menunggu kesempatan itu datang sampai kapanpun, tapi kamu tidak bisa memungkiri kamu telah kehilangan separuh usiamu dengan penantian itu"

W.B. Yeats

*Dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa syukur kehadiran Yesus Kristus
kupersembahkan karyaku untuk almamater tercinta dan orang-orang yang kukasih :*

*Bapak, Ibu, dan Istriku, serta seluruh keluarga dan teman-temanku
Terima kasih atas cinta dan kasih sayang yang kalian berikan.*

SANWACANA

Puji syukur Penulis ucapkan kepada Allah Bapa di surga di dalam nama putranya Yesus Kristus, atas rencana dan kehendak-Nya Penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tesis ini.

Selama penelitian dan penyelesaian penulisan tesis ini, Penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk, saran dan kritik serta bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung,
2. Prof. Dr. Ir. Nanik Sriyani, M.Sc., selaku Pembimbing Pertama yang telah memberikan pengarahan, saran, dan waktu selama penelitian sampai selesainya penulisan tesis,
3. Ir. Dad R. J. Sembodo, M.S., selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan saran dan bimbingan kepada Penulis dalam penulisan tesis,
4. Dr. Hidayat Pujisiswanto, S.P., M.P., selaku Penguji yang telah memberikan masukan dan nasehat kepada Penulis selama penelitian dan penyusunan tesis berlangsung,
5. Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc., selaku Ketua Program Studi Magister Agronomi,

6. Dr. Ir. Dwi Hapsoro, M.Sc., selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan, didikan, dan arahan selama Penulis menyelesaikan masa studi pada Program Studi Magister Agronomi,
7. Segenap dosen Program Studi Magister Agronomi,
8. Kedua orang tua Penulis, Bapak Rafael Susanto dan Ibu Cesilia Kasminah, istriku Diana Saragih, dan adikku Dionisius Yuda Pangestu, yang telah membantu, memberi semangat dan kasih sayangnya serta mendoakan sehingga Penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tesis,
9. Bapak Khoiri dan mahasiswa S1 Agroteknologi Universitas Lampung yang telah membantu Penulis dalam mempersiapkan lahan penelitian sampai akhir penelitian,
10. Rekan Penulis selama penelitian dan teman-teman Penulis Magister Agronomi 2014 dan 2015, untuk setiap bantuan dan dukungan kepada Penulis.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, besar harapan penulis semoga tesis yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya. Tuhan memberkati. Amin.

Bandar Lampung, Juli 2018
Penulis

Gregorius Edo Prakoso

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Landasan Teori	5
1.5 Kerangka Pemikiran	7
1.6 Hipotesis	9
II. TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Sejarah Resistensi terhadap Herbisida Metil Metsulfron dan 2,4-D.....	10
2.2 Mekanisme Resistensi Gulma terhadap Herbisida Metil Metsulfron dan 2,4-D	12
2.3 Metode Pengujian Resistensi Gulma	15
2.3.1 Uji Klasik Seluruh Bagian Gulma	15
2.3.2 Uji Cepat Syngenta	16
2.3.3 Uji Perkecambahan Biji	17
2.3.4 Uji dalam Media Agar	19
2.3.5 Uji Jaringan Daun	19
2.3.6 Uji Perkecambahan Polen	21
2.3.7 Uji DNA	21
2.3.8 Uji Rangkaian DNA	22

2.4 <i>Sphenoclea zeylanica</i>	23
2.5 <i>Monochoria vaginalis</i>	25
2.6 <i>Cyperus difformis</i>	27
2.7 Metil Metsulfuron	29
2.8 2,4-D	30
III. METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	33
3.3 Metode Penelitian	34
3.4 Pelaksanaan Penelitian	35
3.4.1 Survei Lapang	35
3.4.2 Seleksi Gulma Hasil Survei	35
3.4.3 Penanaman Gulma	36
3.4.4 Pengujian Resistensi Gulma	36
3.5 Variabel Pengamatan	41
3.5.1 Gejala Keracunan Gulma	41
3.5.2 Persentase Keracunan Gulma	41
3.5.3 Tingkat Kehijauan Daun	41
3.5.4 Bobot Kering	42
3.6 Analisis Data	42
3.6.1 Persentase Kerusakan Gulma	42
3.6.2 LT_{50}	42
3.6.3 LD_{50}	43
3.6.4 Nisbah Resistensi Gulma	43
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Metil Metsulfuron	44
4.1.1 Gejala Keracunan <i>Sphenoclea zeylanica</i> terhadap Metil Metsulfuron	44
4.1.2 Persentase Keracunan <i>Sphenoclea zeylanica</i>	46
4.1.3 Pengaruh Metil Metsulfuron terhadap Bobot Kering dan Tingkat Kerusakan <i>Sphenoclea zeylanica</i>	47
4.1.4 Pengaruh Metil Metsulfuron terhadap Tingkat Kehijauan Daun <i>Sphenoclea zeylanica</i>	49

4.1.5	LT ₅₀ Metil Metsulfuron pada <i>Sphenoclea zeylanica</i>	50
4.1.6	LD ₅₀ Metil Metsulfuron dan Nisbah Resistensi <i>Sphenoclea zeylanica</i>	52
4.1.7	Gejala Keracunan <i>Monochoria vaginalis</i> akibat Metil Metsulfuron	53
4.1.8	Persentase Keracunan <i>Monochoria vaginalis</i>	54
4.1.9	Pengaruh Metil Metsulfuron terhadap Bobot Kering dan Tingkat Kerusakan <i>Monochoria vaginalis</i>	56
4.1.10	Pengaruh Metil Metsulfuron terhadap Tingkat Kehijauan Daun <i>Monochoria vaginalis</i>	57
4.1.11	LT ₅₀ Metil Metsulfuron pada <i>Monochoria vaginalis</i>	58
4.1.12	LD ₅₀ Metil Metsulfuron dan Nisbah Resistensi <i>Monochoria vaginalis</i>	59
4.2	2,4-D	60
4.2.1	Gejala Keracunan <i>Cyperus difformis</i> akibat 2,4-D	60
4.2.2	Persentase Keracunan <i>Cyperus difformis</i>	61
4.2.3	Pengaruh 2,4-D terhadap Bobot Kering dan Tingkat Kerusakan <i>Cyperus difformis</i>	63
4.2.4	Pengaruh 2,4-D terhadap Tingkat Kehijauan Daun <i>Cyperus difformis</i>	65
4.2.5	LT ₅₀ 2,4-D pada <i>Cyperus difformis</i>	66
4.2.6	LD ₅₀ 2,4-D dan Nisbah Resistensi <i>Cyperus difformis</i>	67
4.3	Pembahasan	68
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	74
5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran	75

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perlakuan dosis herbisida dalam pengujian resistensi gulma	37
2. Nilai LT_{50} metil metsulfuron terhadap <i>Sphenoclea zeylanica</i>	51
3. Nisbah resistensi <i>Sphenoclea zeylanica</i> terhadap metil metsulfuron	52
4. LT_{50} metil metsulfuron pada <i>Monochoria vaginalis</i>	59
5. Nisbah resistensi <i>Monochoria vaginalis</i> terhadap metil metsulfuron	60
6. Nilai LT_{50} 2,4-D terhadap <i>Cyperus difformis</i>	67
7. Nisbah resistensi <i>Cyperus difformis</i> terhadap 2,4-D.....	68
8. Data persentase keracunan <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat metil metsulfuron pada 1 HSA	84
9. Data persentase keracunan <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat metil metsulfuron pada 3 HSA	84
10. Data persentase keracunan <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat metil metsulfuron pada 5 HSA	85
11. Data persentase keracunan <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat metil metsulfuron pada 7 HSA	85
12. Data persentase keracunan <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat metil metsulfuron pada 9 HSA	86
13. Data persentase keracunan <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat metil metsulfuron pada 11 HSA	86
14. Data persentase keracunan <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat metil metsulfuron pada 13 HSA	87

15. Anova persentase keracunan <i>Sphenoclea zeylanica</i> (13 hsa)	87
16. Data bobot kering <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat keracunan metil metsulfuron	88
17. Anova bobot kering <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat keracunan metil metsulfuron	88
18. Data tingkat kehijauan daun <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat keracunan metil metsulfuron	89
19. Anova tingkat kehijauan daun <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat keracunan metil metsulfuron	89
20. Data persentase kerusakan <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat keracunan metil metsulfuron	90
21. Data regresi herbisida metil metsulfuron terhadap <i>Sphenoclea zeylanica</i> .	90
22. LD ₅₀ herbisida metil metsulfuron pada <i>Sphenoclea zeylanica</i>	90
23. Data persentase keracunan <i>Monochoria vaginalis</i> akibat metil metsulfuron pada 1 HSA	91
24. Data persentase keracunan <i>Monochoria vaginalis</i> akibat metil metsulfuron pada 3 HSA	91
25. Data persentase keracunan <i>Monochoria vaginalis</i> akibat metil metsulfuron pada 5 HSA	92
26. Data persentase keracunan <i>Monochoria vaginalis</i> akibat metil metsulfuron pada 7 HSA	92
27. Data persentase keracunan <i>Monochoria vaginalis</i> akibat metil metsulfuron pada 9 HSA	93
28. Data persentase keracunan <i>Monochoria vaginalis</i> akibat metil metsulfuron pada 11 HSA	93
29. Data persentase keracunan <i>Monochoria vaginalis</i> akibat metil metsulfuron pada 13 HSA	94
30. Anova persentase keracunan <i>Monochoria vaginalis</i> (13 hsa)	94
31. Data bobot kering <i>Monochoria vaginalis</i> akibat metil metsulfuron	95

32. Anova bobot kering <i>Monochoria vaginalis</i> akibat metil metsulfuron	95
33. Data tingkat kehijauan daun <i>Monochoria vaginalis</i> akibat metil metsulfuron	96
34. Anova tingkat kehijauan daun <i>Monochoria vaginalis</i> akibat metil metsulfuron	96
35. Data persentase kerusakan <i>Monochoria vaginalis</i> akibat metil metsulfuron	97
36. Data regresi herbisida metil metsulfuron terhadap <i>Monochoria vaginalis</i>	97
37. LD ₅₀ herbisida metil metsulfuron pada <i>Monochoria vaginalis</i>	97
38. Data persentase keracunan <i>Cyperus difformis</i> akibat herbisida 2,4-D pada 1 HSA	98
39. Data persentase keracunan <i>Cyperus difformis</i> akibat herbisida 2,4-D pada 3 HSA	98
40. Data persentase keracunan <i>Cyperus difformis</i> akibat herbisida 2,4-D pada 5 HSA	99
41. Data persentase keracunan <i>Cyperus difformis</i> akibat herbisida 2,4-D pada 7 HSA	99
42. Data persentase keracunan <i>Cyperus difformis</i> akibat herbisida 2,4-D pada 9 HSA	100
43. Data persentase keracunan <i>Cyperus difformis</i> akibat herbisida 2,4-D pada 11 HSA	100
44. Data persentase keracunan <i>Cyperus difformis</i> akibat herbisida 2,4-D pada 13 HSA	101
45. Anova persentase keracunan <i>Cyperus difformis</i> akibat 2,4-D (13 hsa) ...	101
46. Data bobot kering <i>Cyperus difformis</i> akibat 2,4-D	102
47. Anova bobot kering <i>Cyperus difformis</i> akibat 2,4-D	102
48. Data tingkat kehijauan daun <i>Cyperus difformis</i> akibat 2,4-D	103
49. Anova tingkat kehijauan daun <i>Cyperus difformis</i> akibat 2,4-D	103

50. Data persentase kerusakan <i>Cyperus difformis</i> akibat keracunan 2,4-D ...	104
51. Data regresi herbisida 2,4-D terhadap <i>Cyperus difformis</i>	104
52. LD ₅₀ herbisida 2,4-D pada <i>Cyperus difformis</i>	104

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Sphenoclea zeylanica</i>	24
2. <i>Monochoria vaginalis</i>	26
3. <i>Cyperus difformis</i>	28
4. Rumus bangun metil metsulfuron	29
5. Rumus bangun 2,4-D	31
6. Alur penelitian uji resistensi beberapa gulma padi sawah terhadap herbisida metil metsulfuron dan 2,4-D	34
7. Tata letak percobaan uji resistensi gulma <i>Sphenoclea zeylanica</i> terhadap herbisida metil metsulfuron	38
8. Tata letak percobaan uji resistensi gulma <i>Monochoria vaginalis</i> terhadap herbisida metil metsulfuron	39
9. Tata letak percobaan uji resistensi gulma <i>Cyperus difformis</i> terhadap herbisida 2,4-D	40
10. Gejala keracunan metil metsulfuron pada <i>Sphenoclea zeylanica</i>	44
11. Pengaruh herbisida metil metsulfuron pada <i>Sphenoclea zeylanica</i> yang terpapar dan tidak terpapar pada 13 HSA	45
12. Persentase keracunan <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat aplikasi metil metsulfuron ...	46
13. Bobot kering <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat aplikasi metil metsulfuron.....	48
14. Persentase kerusakan <i>Sphenoclea zeylanica</i> terhadap herbisida metil metsulfuron pada taraf dosis tertentu	49

15. Tingkat kehijauan daun <i>Sphenoclea zeylanica</i> akibat aplikasi metil metsulfuron	50
16. Gejala keracunan metil metsulfuron pada <i>Monochoria vaginalis</i>	53
17. Pengaruh herbisida metil metsulfuron pada <i>Monochoria vaginalis</i> yang terpapar dan tidak terpapar pada 13 HSA.....	54
18. Persentase keracunan <i>Monochoria vaginalis</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron.....	55
19. Bobot kering <i>Monochoria vaginalis</i> akibat aplikasi metil metsulfuron.....	56
20. Persentase kerusakan <i>Monochoria vaginalis</i> akibat aplikasi herbisida metil metsulfuron.....	57
21. Tingkat kehijauan daun <i>Monochoria vaginalis</i> akibat aplikasi metil metsulfuron.....	58
22. Gejala keracunan 2,4 -D pada <i>Cyperus difformis</i>	60
23. Gejala keracunan <i>Cyperus difformis</i> terpapar dan tidak terpapar akibat aplikasi 2,4 -D.....	61
24. Persentase keracunan <i>Cyperus difformis</i> pada waktu 3, 7, dan 13 hari setelah aplikasi herbisida 2,4 D pada taraf dosis tertentu.....	62
25. Bobot kering <i>Cyperus difformis</i> akibat aplikasi 2,4-D.....	64
26. Persentase kerusakan <i>Cyperus difformis</i> akibat aplikasi herbisida 2,4-D	65
27. Tingkat kehijauan daun <i>Cyperus difformis</i> akibat aplikasi 2,4-D	66
28. Lokasi sawah pengambilan sampel gulma yang tidak terpapar (A) herbisida metil metsulfuron dan 2,4-D di Desa Sinar Jati, Natar Lampung Selatan dan gulma yang terpapar (B) herbisida metil metsulfuron dan 2,4-D di desa Astomulyo, Punggur Lampung Tengah	105

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gulma menjadi permasalahan utama dalam budidaya tanaman yang muncul sejak awal pengolahan tanah dan penanaman hingga waktu pemanenan tiba. Kehadiran gulma tidak hanya berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman tetapi juga berpengaruh terhadap produksi yang dihasilkan oleh komoditas tanaman budidaya tertentu. Komoditas tanaman pangan seperti padi sawah dan jagung terkena dampak penurunan produksi akibat permasalahan gulma tersebut. Berdasarkan laporan Pitoyo (2006), penurunan produksi padi secara nasional yang diakibatkan karena permasalahan gulma yaitu mencapai 15-42 % untuk padi sawah dan padi gogo 47-87 %. Sedangkan pada komoditas jagung, Mohammadi (2007) melaporkan bahwa gulma dapat menurunkan hasil panen jagung sebesar 37-75% bila tidak dikendalikan. Sementara di negara produsen padi seperti China dilaporkan bahwa penurunan hasil produksi akibat keberadaan gulma mencapai 8 hingga 15%.

Dari 265 spesies gulma padi di Indonesia, 127 merupakan gulma padi lahan basah, 90 spesies gulma padi lahan kering, dan 48 spesies gulma umum yang terdapat di kedua ekosistem tersebut (Soerjani, 1987). Sedangkan menurut Sastroutomo (1994) terdapat 33 jenis gulma yang sering dijumpai tumbuh di padi persawahan yaitu 10 jenis dari golongan rumput-rumputan, 7 jenis dari golongan

teki, dan 16 jenis dari golongan berdaun lebar. Caton *et al.* (2010) menyatakan bahwa jenis gulma daun lebar (*Sphenoclea zeylanica* dan *Monochoria vaginalis*) dan teki (*Cyperus difformis*) yang mendominasi di areal persawahan negara-negara Asia Tenggara seperti Indonesia. Seperti yang dilaporkan oleh Guntoro dan Fitri (2013), bahwa gulma yang paling dominan di pertanaman padi adalah *Echinochloa crus-galli* (golongan rumput) dan *Monochoria vaginalis*.

Pada umumnya pengendalian secara kimia dengan menggunakan herbisida banyak dilakukan dalam mengatasi permasalahan gulma tersebut. Selain praktis penggunaannya dan ditunjang dengan harga yang relatif terjangkau serta mudah mendapatkannya, herbisida dipakai secara besar-besaran dalam budidaya tanaman. Herbisida metil metsulfuron dapat digunakan untuk mengendalikan gulma pra tumbuh dan awal purna tumbuh. Beberapa gulma yang mampu dikendalikan oleh herbisida ini antara lain adalah *Monochoria vaginalis* (eceng padi), *Cyperus difformis* (teki), *Echinochloa crusgalli* (jajagoan), semanggi serta gulma lain yang tergolong pakis-pakisan. Sedangkan herbisida 2,4-D dapat digunakan untuk mengendalikan gulma purna tumbuh baik yang berdaun lebar maupun teki pada padi sawah. Adapun beberapa jenis gulma yang dapat dikendalikan dengan herbisida 2,4-D ini adalah *Monochoria vaginalis* (eceng), *Sphenoclea zeylanica*, *Cyperus iria* (teki), *Limnocharis flava* (genjer), kankung, keladi dan lain-lain (Noor, 1997).

Penggunaan jenis herbisida tertentu secara terus menerus dan dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan munculnya sifat resistensi pada satu gulma tertentu bahkan lebih. Oleh karena itu maka sering muncul peningkatan dosis herbisida

yang digunakan dalam pengendalian namun hal itu justru akan menghasilkan biotipe-biotipe gulma resisten lain dan bahkan bermutasi untuk resisten terhadap beberapa bahan aktif herbisida lainnya. Adapun jenis-jenis gulma yang kerap mengalami resistensi terhadap herbisida yaitu dari jenis rumput dan berdaun lebar. Gulma rumput adalah spesies gulma yang paling sulit dikendalikan pada pertanaman padi, karena selektivitas herbisida yang sangat sempit diantara tanaman padi dan gulma rumput dimana keduanya sama-sama dari famili Gramineae (Khodayati, 1989 dan Carey III, 1992).

Kemunculan resistensi gulma terhadap herbisida telah banyak dilaporkan di berbagai negara, Heap (2015) menyebutkan bahwa kasus kemunculan resistensi gulma berasal dari negara-negara Eropa dan Amerika yang intensif dalam pemakaian herbisida dalam budidaya tanaman pangan maupun bahan baku industri. Selain itu, Hammond (2010) menyatakan bahwa penggunaan tanaman transgenik yang berbasis toleran herbisida berbahan aktif glifosat menjadi salah satu penyebab munculnya gulma resisten di tanah pertanian Amerika. Beberapa kejadian resistensi gulma juga dilaporkan telah terjadi di negara-negara Asia yang berbasis pertanian dan perkebunan.

Sementara untuk kasus resistensi gulma terhadap herbisida berbahan aktif metil metsulfuron dan 2,4-D yang berada di daerah persawahan Provinsi Lampung belum ditemukan adanya laporan terperinci mengenai munculnya resistensi dalam budidaya tanaman pangan khususnya padi sawah. Keadaan agroklimat dan manajemen pengelolaan dalam budidaya tanaman di masing-masing daerah berpengaruh terhadap karakteristik biotipe gulma yang ada. Oleh sebab itu perlu

dilakukan penelitian untuk membuktikan bahwa resistensi gulma-gulma tersebut terhadap herbisida berbahan aktif metil metsulfuron dan 2,4-D sudah terjadi atau belum di daerah Lampung. Dan lebih lanjut lagi dapat diketahui bagaimana mekanisme terjadinya resistensi pada gulma -gulma tersebut terhadap herbisida berbahan aktif metil metsulfuron dan 2,4-D.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Apakah gulma *Sphenoclea zeylanica* dan *Monochoria vaginalis* telah mengalami resistensi terhadap herbisida metil metsulfuron?
2. Apakah gulma *Cyperus difformis* telah mengalami resistensi terhadap herbisida 2,4-D?
3. Perbedaan sifat agronomis apa yang terjadi antara gulma *Sphenoclea zeylanica* dan *Monochoria vaginalis* yang resisten dan sensitif terhadap herbisida metil metsulfuron?
4. Perbedaan sifat agronomis apa yang terjadi antara gulma *Cyperus difformis* yang resisten dan sensitif terhadap herbisida 2,4-D?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui adanya resistensi *Sphenoclea zeylanica* dan *Monochoria vaginalis* terhadap metil metsulfuron.
2. Mengetahui adanya resistensi *Cyperus difformis* terhadap 2,4-D.
3. Mengidentifikasi perbedaan sifat agronomis antara *Sphenoclea zeylanica* dan *Monochoria vaginalis* yang resisten dan sensitif terhadap herbisida metil metsulfuron.
4. Mengidentifikasi perbedaan sifat agronomis antara *Cyperus difformis* yang resisten dan sensitif terhadap herbisida 2,4-D.

1.4 Landasan Teori

Saat ini setidaknya terdapat 22 spesies gulma monokotil dan 48 spesies gulma dikotil resisten terhadap herbisida ALS inhibitor (Heap, 2002). Resistensi terhadap herbisida ALS inhibitor pada beberapa spesies gulma tidak terbatas hanya pada populasi yang diisolasi di area tertentu namun lebih jauh telah menyebar dan menjadi ancaman yang nyata akibat dari penggunaan herbisida ini dalam jangka waktu yang panjang. Hal inilah yang sudah terjadi di negara Amerika Serikat dan Kanada seperti yang dilaporkan oleh Guttieri (1995) pada penggunaan klorsulfuron pada lahan gandum.

Hall *et al.* (1994) menyatakan setidaknya terdapat dua mekanisme yang terjadi dalam munculnya resistensi terhadap ALS inhibitor yang pertama adalah dengan menurunkan sensitifitas enzim yang menjadi target ALS. Mekanisme kedua yaitu dengan meningkatkan metabolisme herbisida sehingga mengakibatkan proses detoksifikasi bagi bahan aktif herbisida. Mekanisme ini umumnya menghasilkan level resistensi yang rendah (di bawah 10 kali lipat) terhadap

berbagai mekanisme kerja herbisida lainnya. Mekanisme resistensi melalui peningkatan metabolisme banyak yang telah teridentifikasi seperti yang dilaporkan oleh Christopher *et al.* (1991) pada spesies gulma *Lolium rigidum* dan *Alopecurus myosuroides* (Cussans dan Moss, 1982).

Heap (2011) menyatakan bahwa saat ini telah ditemukan 29 kejadian resistensi gulma terhadap herbisida auksin, namun karakteristik suatu mekanisme terjadinya resistensi hanya diteliti pada beberapa spesies gulma tertentu saja. Coupland (1994) menyatakan perbedaan antara resistensi dan rentan terhadap herbisida auksin pada beberapa biotipe spesies gulma berdasarkan pada perbedaan secara morfologi, mengikuti tingkat resistensi masing-masing spesies gulma.

Burke *et al.* (2009) menyatakan bahwa mekanisme terjadinya resistensi akibat adanya perbedaan dalam penyerapan herbisida, translokasinya dalam jaringan gulma, metabolisme gulma dan potensi perubahan target site resisten pada gulma. Namun, sampai saat ini belum diketahui secara pasti bagaimana mekanisme tersebut dapat terjadi. Singh (2009) menjelaskan hasil penelitiannya bahwa biotipe *Lactuca serriola* yang resisten herbisida 2,4-D memiliki kemampuan 25 kali lipat lebih resisten dibandingkan dengan biotipe rentannya pada respon dosis normal dalam skala percobaan.

Studi mengenai daya waris resisten terhadap herbisida auksin pada beberapa spesies gulma diilustrasikan pada percobaan menggunakan spesies gulma *Sinapis arvensis* yang resisten terhadap dicamba, 2,4-D dan pikloram oleh Jasieniuk dan Jugulam (Jasieniuk *et al.* 1995; Jugulam *et al.* 2005) ternyata disebabkan oleh adanya pengaruh sebuah gen tunggal dominan. Gen tunggal dominan tersebut

menyebabkan terjadinya reaksi metabolisme herbisida pada gulma untuk menjadi resisten terhadap golongan herbisida auksin.

Pada percobaan herbisida dicamba (sintetik auksin) pada *Kochia scoparia* ditemukan bahwa terdapat alel tunggal dengan kemampuan dominasi gen tinggi untuk membuat spesies tersebut resisten terhadap dicamba. Namun sebaliknya, pada percobaan herbisida pikloram dan quinklorak ditemukan bahwa yang mampu mengontrol kemampuan resisten spesies *Centaurea solstitialis* (Sabba *et al.* 2003) dan *Galium spurium* (Van Eerd *et al.* 2004) adalah sebuah gen tunggal resesif.

1.5 Kerangka Pemikiran

Mekanisme kerja metil metsulfuron (grup ALS inhibitor) dalam membunuh gulma adalah dengan menghambat atau merusak 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. Dalam proses fisiologisnya, akan terbentuk 3 asam amino penting yaitu valin dan leusin yang berasal dari molekul piruvat yang kemudian dikatalisis oleh enzim ALS menjadi bentuk asam laktat dan asam amino isoleusin yang berasal dari molekul piruvat dan ketobutirat akan diubah menjadi asam hidributirat.

Penghambatan pembentukan enzim oleh bahan aktif herbisida akan menyebabkan terjadinya penumpukan substrat asam piruvat yang harus segera ditransformasikan ke dalam bentuk-bentuk lainnya guna menjalankan proses fisiologis tumbuhan. Apabila enzim dihambat pada sisi aktifnya maka kemampuan dalam mengkatalisis suatu reaksi akan berkurang sehingga berakibat pada kurangnya

tumbuhan (gulma) akan kebutuhan asam amino. Gejala-gejala yang tampak pada tumbuhan akibat hal tersebut menyebabkan terhentinya pertumbuhan akibat berhentinya pasokan fotosintat untuk digunakan sebagai pertumbuhan, pemendekkan ruas-ruas batang tumbuhan, daun yang berubah menjadi berwarna ungu dan pemendekan akar lateral.

Salah satu mekanisme yang mungkin terjadi dalam proses resistensi terhadap herbisida dengan bahan aktif metil metsulfuron adalah dengan meningkatkan metabolisme gulma dalam memproduksi enzim ALS sehingga proses pembentukan rantai asam amino masih dapat berlangsung dan bila terlihat secara visual dari penampakan gulmanya akan terlihat tetap segar dan hijau. Selain itu, dari bobot kering gulma yang resisten juga akan mengalami peningkatan dari bobot kering bila dibandingkan dengan bobot kering gulma yang toleran maupun gulma spesies liar yang belum pernah teraplikasi herbisida golongan ALS sebelumnya.

Sementara mekanisme kerja dari golongan sintetik auksin adalah dengan menghambat kinerja dari hormon auksin alami seperti IAA (*indole acetic acid*) di dalam metabolisme gulma. IAA berperan dalam mengekspresikan gen tertentu yang dibutuhkan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Apabila kinerja IAA dihambat dengan kehadiran sintetik auksin yang berasal dari herbisida yang secara alamiah bukan berasal dari metabolisme tumbuhan maka akan mengakibatkan pembentukan enzim ABA dan etilen meningkat.

Keberadaan ABA dan etilen yang meningkat menyebabkan terjadinya epinasti dan senesens (penuaan) pada daun dan berujung pada kematian. Selain itu

kegagalan dalam mengekspresikan gen pertumbuhan maka yang terlihat secara visual pada gulma adalah terhambatnya pertumbuhan ditandai dengan mengeritingnya daun dalam hitungan jam dan terjadi pemendekan ruas batang disertai dengan perubahan warna daun mulai dari kuning sampai berwarna coklat kemudian seluruh bagian gulma akan mati.

Salah satu mekanisme yang mungkin terjadi dalam proses resistensi terhadap herbisida dengan bahan aktif 2,4-D adalah dengan meningkatkan metabolisme gulma dalam memproduksi auksin alami (IAA) dalam jumlah tertentu yang menyebabkan berkurangnya bahan aktif 2,4-D dalam mengikat sisi aktif enzim yang berperan dalam mengekspresikan gen.

1.6 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah dikemukakan, dapat disusun hipotesis sebagai berikut :

1. Ditemukan adanya resistensi pada *Sphenoclea zeylanica* dan *Monochoria vaginalis* terhadap metil metsulfuron.
2. Ditemukan adanya resistensi pada *Cyperus difformis* terhadap 2,4-D.
3. Ditemukan adanya perbedaan sifat agronomis yang terjadi pada *Sphenoclea zeylanica* dan *Monochoria vaginalis* terpapar dan tidak terpapar metil metsulfuron yang mengakibatkan munculnya resistensi terhadap metil metsulfuron.
4. Ditemukan adanya perbedaan sifat agronomis yang terjadi antara *Cyperus difformis* terpapar dan tidak terpapar 2,4-D yang mengakibatkan munculnya resistensi terhadap 2,4-D.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Resistensi terhadap Herbisida Metil Metsulfuron dan 2,4-D

Resisten terhadap herbisida pertama kali dilaporkan pada awal tahun 1957 di Hawaii terhadap herbisida 2,4-D, dan laporan tentang resisten herbisida pertama kali dikonfirmasi adalah kasus resisten *Senecio vulgaris* terhadap herbisida triazine, dan dilaporkan pada tahun 1968 di Amerika (Santhakumar, 2012).

Resistensi terhadap herbisida merupakan kemampuan suatu tumbuhan untuk bertahan hidup dan berkembang meskipun pada dosis herbisida yang umumnya mematikan spesies tersebut.

Pada beberapa negara, biotip gulma yang resisten herbisida terus mengganggu aktifitas para petani. Biotip adalah populasi dengan spesies yang memiliki “karakteristik yang luar biasa” dari spesies pada umumnya, karakteristik yang luar biasa itu dapat berupa ketahanan/resistensi spesies terhadap suatu herbisida. Munculnya resistensi herbisida pada suatu populasi merupakan suatu contoh terjadinya evolusi gulma yang sangat cepat (Hager dan Refsell, 2008).

Pengendalian gulma dengan herbisida dapat menimbulkan terbentuknya populasi gulma resisten atau toleran herbisida. Gulma resisten-herbisida muncul sudah ada sejak lama. Resistensi muncul telah ada setelah penemuan herbisida fenoksi 2,4-D. Populasi gulma resisten-herbisida adalah populasi yang mampu bertahan hidup

normal pada dosis herbisida yang biasanya mematikan populasi tersebut. Populasi resisten terbentuk akibat adanya tekanan seleksi oleh penggunaan herbisida sejenis secara berulang-ulang dalam periode yang lama (Purba, 2009).

Resistensi terhadap herbisida penghambat ALS telah meningkat secara eksponensial selama satu dekade terakhir di berbagai sistem pertanian (Heap 2015). Resistensi terhadap herbisida penghambat ALS pada gulma dipengaruhi oleh kedua faktor yaitu perubahan target site atau peningkatan pendegradasian herbisida (Riar *et al.* 2015; Tranel and Wright 2002). Dari dua faktor tersebut, perubahan target site merupakan hal sering terjadi dan menghasilkan level resisten terhadap ALS lebih besar lagi (Shaner 1999; Tranel and Wright 2002; Whaley *et al.* 2006; Zheng *et al.* 2011).

Di tahun 1998 herbisida penghambat ALS melampaui semua kelas herbisida lainnya dalam jumlah spesies gulma yang dilaporkan telah muncul populasi resisten. Pertama kalinya herbisida golongan tersebut dipasarkan yaitu pada tahun 1982, disaat herbisida golongan triazin telah digunakan secara intensif sejak tahun 1960. Penemuan herbisida golongan penghambat ALS memiliki pengaruh yang besar bagi sejarah ilmu gulma. Herbisida ini, hanya menggunakan dosis g/ha bila dibandingkan dengan tipe herbisida lainnya yang menggunakan dosis kg/ha. Hal ini menyebabkan berkurangnya jumlah total bahan aktif herbisida yang digunakan ke tanaman selama tahun 1980 (Bellinder *et al.* 1994).

Teknologi herbisida berkembang pesat di tahun 1982 dengan dikenalkannya herbisida penghambat ALS untuk pertama kalinya, chlorsulfuron, untuk pengendalian gulma berdaun lebar di tanaman sereal (Saari *et al.* 1994).

Chlorsulfuron dikenal sebagai herbisida jenis sulfonilurea (SU) yang efektif pada dosis rendah yang berhubungan dengan kespesifikan dalam menghambat enzim ALS (Ray, 1984). Sejak dikenalkannya herbisida jenis sulfonilurea, juga terdapat herbisida lain yang juga mampu menghambat ALS yaitu imidazolinon (IMIs) (Shaner *et al.* 1984), triazolopirimidin sulfonanilida (TPs) (Gerwick *et al.* 1990), dan pirimidinilthiobenzoat (PTBs) (Takahashi *et al.* 1991). Kasus resistensi terhadap herbisida golongan sintetis auksin pertama kali muncul pada tahun 1957 di Kanada pada gulma wortel liar (*Daucus carota* L.) dan paling banyak muncul kasus resistensi pada tahun 1990 dan 1999 (Heap, 2015).

2.2 Mekanisme Resistensi Gulma terhadap Herbisida Metil Metsulfuron dan 2,4-D

ALS atau yang disebut juga sebagai *acetohydroxyacid synthase* atau AHAS, merupakan enzim pertama yang umumnya dikenal sebagai pembentuk ikatan rantai asam amino isoleusin, valin dan leusin (Umberger, 1978). Penghambatan dari proses pembentukan asam laktat (ALS) mendorong terjadinya kekurangan asam amino tersebut bagi tanaman dan menjadi bagian utama dalam mekanisme kerja dari herbisida ALS inhibitor yang menyebabkan gulma mati. Efek yang kedua dari terhambatnya sintase asam laktat adalah terbentuknya 2-ketobutirat, gangguan sintesis protein dan transport fotosintat, juga mampu menyebabkan gulma mati (Shaner, 1991).

Gulma dapat menjadi toleran terhadap herbisida akibat dari mekanisme yang terjadi mampu mencegah herbisida dari pengikatan atau penempatan target dimana normalnya lokasi target tersebut dapat mengganggu aktivitas biologi, atau

gulma mampu mendegradasi herbisida menjadi bentuk molekul non-fitotoksi atau mencegah herbisida memasuki atau bergerak dalam jaringan gulma (Carvalho *et al.* 2009). Meskipun mekanisme tersebut dapat juga dikatakan sebagai kemungkinan terjadinya proses resistensi, terdapat perbedaan definisi antara apa yang dimaksud dengan resisten maupun toleran, namun dalam hal ini toleran didefinisikan sebagai gulma tipe liar yang belum pernah dikendalikan sebelumnya menggunakan herbisida.

Menurut WSSA (2017), menyebutkan bahwa definisi dari *Toleran Herbisida* adalah suatu kemampuan yang diturunkan pada suatu spesies untuk bertahan hidup dan bereproduksi setelah aplikasi herbisida dilakukan. Hal ini menjelaskan bahwa tidak ada proses seleksi atau manipulasi genetik untuk membuat gulma tersebut toleran. Hal ini yang disebut dengan toleran yang terjadi secara alamiah. *Resisten Herbisida* adalah suatu kemampuan yang diturunkan pada suatu spesies untuk bertahan hidup dan bereproduksi setelah diaplikasikan dosis tertentu dari suatu herbisida yang sudah mampu membunuh spesies liar (Vencill *et al.*, 2012).

Tanaman mampu mengekspresikan sifat resisten dalam bentuk “*target-site*” atau “*non target-site*” (Steinmaus *et al.*, 2000). Hal tersebut disebut lokasi, umumnya adalah enzim, dalam tanaman dimana bahan aktif pada herbisida mengikat dan mengacau proses fisiologis (Nandula, 2010). Kajian mengenai mekanisme resistensi herbisida pada gulma telah mengalami perubahan, enzim target yang menjadi resisten dibuat dengan cara mutasi genetik pada enzim targetnya sehingga herbisida tidak dapat lagi menghambat aktivitas enzim (Neve, 2007; Powles and Preston, 2006).

Gulma non-target resisten secara metabolis mendetoksifikasi bahan aktif herbisida, mencegah herbisida mencapai lokasi target dengan mengurangi penyerapan dan translokasi herbisida, atau mengasingkan herbisida di jaringan lokasi yang tak terpengaruh oleh bahan aktif (Cummins and Edwards, 2010; Prather *et al.* 2000; Tharayil-Santhakumar 2004; Yuan *et al.* 2007).

Menurut Anderson (2007) biotipe gulma resisten pada umumnya memiliki 5 mekanisme biokimia dalam melawan herbisida antara lain adalah sebagai berikut :

1. Memodifikasi protein *binding site* pada Fotosistem II (golongan triazin dan urasil).
2. Memodifikasi ALS-*binding site* (golongan sulfonilurea dan imidazolinon).
3. Meningkatkan detoksifikasi (golongan arloksifenoksipropionat dan urea).
4. Meningkatkan penyerapan (golongan bipirilidium).
5. Menstabilkan mikrotubula (golongan dinitroanilin).

Metil metsulfuron termasuk ke dalam golongan herbisida sulfonilurea yang mekanisme kerjanya adalah dengan menghambat pembentukan enzim asetoalaktat sintase (*ALS inhibitor*) yang berperan dalam membentuk 3 asam amino utama yang berperan dalam fotosistem II yaitu valin, leusin dan isoleusin. Stidham (1991) menyatakan bahwa *site of action* herbisida golongan sulfonilurea adalah di kloroplas dengan menghambat bekerjanya enzim ALS (AHAS). Enzim yang terhambat menyebabkan kandungan ketiga asam amino akan berkurang dan berujung pada kematian sel. Namun efek utama herbisida ini tidak selalu disebabkan karena kurangnya asam amino, tetapi dapat juga disebabkan oleh

metabolisme dari asam alfa-amino butirik. Asam ini dihasilkan dari adanya prekursor dari sel yang terbagi akibat terhambatnya pembentukan enzim ALS yang berperan dalam fotosintesis.

2.3 Metode Pengujian Resistensi Gulma

2.3.1 Uji Klasik Seluruh Bagian Gulma

Adanya laporan resistensi gulma yang terjadi pada pertanian di beberapa negara maju menunjukkan bahwa resistensi terhadap suatu herbisida atau beberapa herbisida menjadi permasalahan yang penting dalam manajemen pertanian.

Terdapat beberapa metode dalam menguji apakah gulma telah resisten terhadap herbisida tertentu. Metode pertama kali yang digunakan untuk menguji resistensi adalah dengan menggunakan pendekatan klasikal atau sering disebut dengan *classical assay*. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan benih gulma curah yang diambil dari gulma yang bertahan hidup di area yang diduga terjadi suatu resistensi. Benih tersebut ditanam pada pot dan diaplikasikan herbisida tertentu. Menurut Moss (1999) untuk menentukan benih gulma yang akan digunakan yaitu dengan mengambil dalam jumlah banyak dan diseleksi yang bertujuan untuk mendapatkan benih yang memiliki viabilitas tinggi ketika dikecambahkan.

Ketika suatu spesies gulma yang akan digunakan dalam penelitian resistensi terhadap herbisida dengan mekanisme kerja yang belum terdokumentasi sebelumnya, populasi gulma yang diduga rentan diambil dari populasi yang jaraknya sedekat mungkin dengan populasi yang diteliti. Hal ini penting karena perbedaan genetik diantara spesies gulma yang diakibatkan perbedaan iklim dan

kondisi geografis, populasi S (rentan) dan R (resisten) dalam lokasi yang sama memiliki persamaan karakteristik genetik yang berdampak terhadap respon pada herbisida. Perbandingan antara populasi-populasi umumnya dilakukan dengan dibedakan dalam perlakuan dosis efektif yang menyebabkan terhambatnya pertumbuhan sebesar 50% (GR_{50}) ditandai dengan penurunan biomassa dan atau penampakan visual atau dosis yang dibutuhkan untuk membunuh tanaman hingga 50%.

Pengujian seluruh tanaman secara klasik membutuhkan jangka waktu yang lama, mencapai waktu 2 bulan untuk mendapatkan hasil dan juga tak diterima untuk pengujian jangka panjang. Percobaan –percobaan yang telah dilakukan untuk menguji resistensi memudahkan petani dalam menggunakan informasi resistensi tersebut untuk membuat keputusan yang tepat dalam pengelolaan pengendalian gulma yang gagal saat ini.)

2.3.2 Uji Cepat Syngenta

Syngenta Quick test dibuat untuk menguji spesies rumput-rumputan, terutama *rigid ryegrass* and *blackgrass* (*Alopecurus myosuroides* Huds.) yang diambil dari kebun yang terindikasi terjadi resistensi (Boutsalis, 2001). Bagian vegetatif tanaman dipisahkan kemudian bagian pucuk dipotong dan ditanam di pot. Bagian potongan yang berregenerasi dapat disemprot dengan herbisida pada daun setelah 1 minggu setelah penanaman kembali. Chlorsulfuron [penghambat asetolaktat sintase (ALS)]; diclofop, fenoxaprop, fluazifop, haloxyfop, and sethoxydim [penghambat asetil koenzim-A karboksilase (ACCase)]; dan isoproturon [penghambat fotosistem II (PSII)] telah diuji berdasarkan kedua potongan pucuk

blackgrass atau rigid ryegrass dan menghasilkan konfirmasi yang tepat mengenai resistensi pada herbisida-herbisida tersebut.

Penggunaan bagian potongan yang beregenerasi memiliki banyak keunggulan.

Hal ini memiliki kegunaan yang luas pada golongan spesies rumput dan herbisida pasca tumbuh. Tidak membutuhkan waktu untuk menunggu proses pendewasaan tanaman yang hidup untuk menghasilkan biji. Klon yang terindikasi resisten dapat dilakukan uji respon dosis herbisida dan percobaan yang lainnya.

Keunggulan lainnya adalah menyediakan kajian yang mendetail mengenai intrapopulasi. Bila tanaman yang diambil sampel awal musim tanam, hasilnya dapat digunakan untuk rekomendasi potensial bagi perbaikan aplikasi herbisida dalam musim yang sama. Pendeteksian suatu resistensi tidak dipengaruhi oleh umur tanaman sebagai tanaman yang beregenerasi dengan respon yang menyerupai perkecambahan (Boutsalis, 2001).

2.3.3 Uji Perkecambahan Biji

Uji ini dilakukan pertama kali oleh Bourgeois pada tanaman oat liar. Cawan petri digunakan untuk menentukan pola resistensi silang yang terjadi pada aksesori oat liar (*Avena fatua* L.) terhadap penghambat ACCase (Bourgeois *et al.* 1997). Biji oat liar didekambahkan pada media agar dengan beberapa konsentrasi clodinafop and clethodim untuk menentukan dosis yang sesuai. Tingkat resistensi dinilai berdasarkan pemanjangan koleoptil dan akar pada benih yang diberi perlakuan dan tanpa perlakuan. Uji ini mampu mendeteksi *target site* dan metabolismenya berdasarkan herbisida yang digunakan. Uji ini mudah, cepat, dan membutuhkan tempat yang tidak luas dari uji tanaman secara keseluruhan. Namun, uji ini masih

membutuhkan benih hasil panen yang berasal dari gulma yang bertahan hidup (resisten), sehingga hasilnya dapat diketahui dan digunakan pada musim tanam berikutnya.

Teknik yang populer digunakan untuk uji resistensi secara cepat adalah dengan menginkubasi benih yang akan berkecambah dalam cawan petri yang mengandung berbagai konsentrasi herbisida, di bawah kondisi optimum masing-masing gulma. Panjang koleoptil digunakan sebagai indikator terhadap munculnya resistensi setelah 3 sampai 7 hari setelah inkubasi. Uji ini juga telah dilakukan pada spesies rumput dan resistensi terhadap penghambat ACCase yaitu barnyardgrass [*Echinochloa crusgalli* (L.) P. Beauv.] (Huan *et al.* 2011), green foxtail (*Setaria viridis* L.) (De 1ye *et al.* 2002), and johnsongrass [*Sorghum halepense* (L.) Pers.] (Burke *et al.* 2006) dan resistensi terhadap penghambat ALS pada gulma flixweed [*Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl] (Xu *et al.* 2010).

Variasi dari uji tersebut yaitu benih yang berkecambah dalam pot diisi dengan perlite medium dan pot disiram setiap hari dengan larutan nutrisi dengan atau tanpa herbisida (Breccia *et al.* 2011). Pot dapat diletakkan di rumah kaca atau ruang tumbuh dibawah kondisi yang dibutuhkan spesies yang diuji. Metode ini pernah dilakukan pada bunga matahari (*Helianthus annuus* L.) untuk menguji resistensi terhadap herbisida golongan imidazolinone, khususnya imazapyr, pada rentang dosis hingga 10 mM. Kecambah dibiarkan tumbuh sampai umur 2 minggu dan dilakukan pengukuran terhadap akar dan pucuk.

2.3.4 Uji dalam Media Agar

Uji menggunakan media agar berherbisida merupakan pencarian lanjutan mengenai uji sederhana yang memberikan informasi lapangan untuk digunakan pada musim tanam yang sama. Uji agarbased seedling digunakan untuk menguji resistensi gulma blackgrass terhadap herbisida penghambat ACCase, ALS, dan PSII di Eropa (Claude *et al.* 2004). Benih terpilih dari lokasi teridikasi resisten terhadap herbisida di pindah tanam ke media agar, dan diletakkan dalam ruang tumbuh atau rumah kaca hingga akar dan pucuk baru terbentuk. Gulma kemudian disemprot dengan berbagai dosis herbisida dan dilakukan pengukuran pada 14 hari setelah perlakuan. Perbedaan utama uji ini dengan uji seluruh tanaman versi Uji Cepat Syngenta (Syngenta Quick Test) adalah penggunaan gulma yang berkecambah di lapangan sebelum diaplikasikan herbisida purna tumbuh. Uji ini tetap membutuhkan waktu mencapai 1 bulan untuk menyelaskannya, namun unggul dalam penggunaan tempat dibandingkan uji seluruh tanaman. Permasalahan utama uji ini adalah butuhnya perawatan yang tepat untuk menjaga media agar tidak mengering hingga umur 4 minggu.

2.3.5 Uji Jaringan Daun

Uji ini telah banyak dilakukan lebih dari 30 tahun terakhir untuk menyeleksi populasi gulma yang resisten terhadap herbisida dengan mekanisme kerja yang berbeda-beda. Uji memiliki keunggulan dalam waktu, mekanisme kerja herbisida yang spesifik dan non destruktif. Meskipun uji tersebut sering digunakan dalam mempelajari mekanisme resistensi terhadap suatu herbisida, uji ini dapat pula digunakan untuk menseleksi populasi gulma yang resisten di lapangan. Hal-hal

yang harus diperhatikan dalam menggunakan uji ini adalah jaringan daun gulma yang digunakan harus tumbuh sehat dan bervigor baik. Uji yang dilakukan menggunakan jaringan daun gula yang hidup. Untuk menguji penghambat ALS dan akumulasi asam shikimat diperlukan jaringan muda yang sedang aktif membelah. ALS and EPSPS merupakan yang paling aktif dalam jaringan meristematik dan aktivitas enzim akan menurun dengan cepat seiring dengan dewasa atau tuanya jaringan daun (Gerwick *et al.* 1993; Shaner *et al.* 2005).

Gulma yang digunakan dalam pengujian harus bervigor dan tidak dalam kondisi stres. Gulma dalam kondisi stres akan mengalami penurunan aktivitas enzim. Dalam banyak kasus pengujian bergantung pada aktifnya fotosintesis daun sehingga uji tersebut membutuhkan kondisi pencahayaan yang baik. Kontaminasi terhadap bakteri juga perlu diperhatikan. Bila bagian daun yang disebut disc tidak dikeluarkan dengan alat tajam, sel yang rusak pada permukaan potongan akan melepaskan sitoplasma. Hal ini akan menyediakan sumber makanan bagi pertumbuhan bakteri kecuali uji dilakukan dengan kondisi yang steril. Bakteri mampu mengganggu dalam uji ini dengan memberikan respon yang sama dengan respon gulma terhadap herbisida. Dalam uji shikimat, yang perlu diperhatikan yaitu konsentrasi suatu herbisida (1 sampai 10 mM) dalam setiap pengujiannya. Semua populasi gulma yang resisten diuji untuk mengukur akumulasi asam shikimat pada konsentrasi herbisida paling tinggi (Singh and Shaner, 2008).

Peneliti membutuhkan kemampuan dan pengalaman yang baik untuk mengetahui bagian jaringan yang terbaik dan bagaimana mengatasi masalah yang terjadi pada uji tersebut seperti kontaminasi oleh bakteri. Menurut Hanson *et al.* 2009,

meskipun jenis uji ini dapat digunakan untuk menseleksi populasi gulma di lapangan, hasil interpretasinya harus diperhatikan dengan hati-hati. Uji ini baik untuk seleksi yang membutuhkan umpan balik dari petani sesegera mungkin. Kelemahan lain dari uji ini adalah dibutuhkannya optimalisasi bagi setiap spesies gulma baru. Hal ini membutuhkan waktu dan kesabarab dari peneliti. Uji tersebut juga tidak cukup untuk digunakan hanya sebagai metode untuk mengidentifikasi populasi resisten. Uji jaringan daun ini harus menjadi bagian dari sistem yang meliputi seleksi keseluruhan tanaman untuk mengkonfirmasi terjadinya suatu resistensi.

2.3.6 Uji Perkecambahan Polen

Uji ini menggunakan polen atau serbuk sari yang berkecambah dalam media agar yang mengandung konsentrasi herbisida tertentu (Letouze´ and Gasquez, 2000). Resistensi ditentukan dengan mengevaluasi polen yang berkecambah dibawah mikroskop. Uji ini tergolong cepat namun hanya mendeteksi pada target site berdasarkan resistensinya dan memiliki beberapa keterbatasan dengan sulitnya polen untuk berkecambah. Untuk kriteria yaitu 50% perkecambahan diduga sebagai biotipe resisten (R) dan 10% perkecambahan sebagai biotipe rentan (S).

2.3.7 Uji DNA

Saat ini banyak ditemukan kasus resistensi gulma yang telah diteliti pada tingkat DNA, hal ini pada umumnya meningkat untuk mendeteksi suatu resistensi terhadap herbisida tertentu. Keuntungan utama uji diantara uji-uji lainnya adalah kecepatannya dalam menentukan hasil. Uji ini menggunakan reaksi rantai polimerase (PCR) yang dapat menyediakan jawaban iya atau tidak dalam waktu 1

hari. Lebih lanjut lagi, uji ini dapat dengan mudah dilakukan untuk analisis tingkat tinggi, yang mampu dikerjakan oleh laboratorium untuk menguji ratusan sampel dalam sehari dengan kebutuhan tempat yang minimal.

Selain memiliki kelebihan, uji ini juga memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan sebelum menggunakan uji tersebut. Pertama, uji ini terbatas hanya pada resistensi yang mekanismenya dapat dijelaskan pada tingkat DNA. Lalu, uji DNA terbatas hanya mendiagnosis target site berdasarkan resistensinya dan hanya untuk yang menjadi target herbisida yaitu D1 protein, ALS, tubulin, ACCase, EPSPS, phytoene desaturase (PDS), and PPO. Kedua, karena uji ini hanya spesifik pada mekanisme saja, maka yang diperhatikan adalah dalam menginterpretasikan hasil negatif dari uji tersebut.

Satu hal yang perlu diingat, jika mutasi khusus yang bertanggung jawab dalam resistensi yang ada dalam biotipe, tak ada jaminan bahwa hanya mekanisme resistensi yang sekarang terjadi. Ketiga uji DNA umumnya harus didesain dan dicocokkan untuk tiap mutasi resistensi atau kombinasi spesies. Namun, usaha-usaha akhir ini telah dilakukan secara menyeluruh dalam uji DNA untuk beberapa resistensi herbisida (Kaundun *et al.*, 2011).

2.3.8 Uji Rangkaian DNA

Telah banyak diketahui bahwa mutasi berperan dalam resistensi herbisida pada gulma yaitu single nucleotide polymorphisms (SNPs) yang menghasilkan penggantian satu asam amino dengan asam amino lainnya. Satu cara untuk mendeteksi seperti polimorfisme adalah rangkaian gen yang terkait. Identifikasi pendugaan perubahan asam amino sebelumnya menggambarkan resistensi dapat

dijadikan sebagai konfirmasi kuat yang menjelaskan adanya biotipe resisten. Sebagai contoh, banyak kasus resisten terhadap mutasi ALS diketahui daripada lainnya yang berasal dari identifikasi pada gulma (Tranel and Wright, 2002).

Literatur lain juga menyebutkan bahwa sumber mutasi yang menyebabkan resisten terhadap herbisida belum teridentifikasi pada gulma. Sebagai contoh, meskipun target site resisten pada penghambat 4-*hydroxyphenylpyruvate dioxygenase* (HPPD) belum dilaporkan pada gulma, mutasi HPPD yang menyebabkan resistensi telah teridentifikasi (Boudec *et al.* 2001; Busch *et al.* 2011).

2.4 *Sphenoclea zeylanica*

Sphenoclea zeylanica tergolong dalam gulma herba tahunan, bercabang dan biasanya tingginya 7-150 cm. Batang cenderung tegak membentuk silinder dan berongga yang berisi akar lateks. Pembungaan biasanya dimulai pada pucuk yang membentuk silinder menyerupai tabung dan terdapat petiola berwarna putih (Gambar 1). Buahnya berbentuk kapsul globular yang rata, berdiameter 4-5 mm melintang. Benih berwarna coklat kekuningan, sangat kecil, dan panjangnya 0,5 mm. *Sphenoclea zeylanica* tumbuh subur dalam kondisi lembab termasuk sawah, rawa atau daerah yang secara berkala terendam air (Holm *et al.*, 1977).

Sphenoclea zeylanica memiliki taksonomi sebagai berikut :

Kingdom : Plantae
 Divisi : Spermatophyta
 Subdivisi : Angiospermae
 Kelas : Dicotyledonae
 Ordo : Campanulales

Famili : Sphenocleaceae
Genus : Sphenoclea
Spesies : *Sphenoclea zeylanica*



Gambar 1. *Sphenoclea zeylanica*

Di Malaysia, *Sphenoclea zeylanica* banyak ditemukan pada padi sawah hasil transplantasi dan pada tambalan padi sawah basah tetapi jarang ditemukan pada padi sawah kering. Di Filipina, beberapa strain *Sphenoclea zeylanica* dapat ditemukan yang memiliki tingkat toleransi yang berbeda terhadap 2,4-D. Tingkat kerentanan terhadap herbisida dapat dikaitkan dengan lapisan kutikula daun yang mulai berdiferensiasi pada tahap daun 8-10 (Mercado *et al.*, 1990). Sejumlah herbisida yang efektif mengendalikan *Sphenoclea zeylanica* adalah dari golongan anilofos, butachlor, dichlobenil, dimethametryn, dinitramine, fluorodifen, thiobencarb, terbuchlor, trifluralin, oxadiazon, piperophos, propanil, pendimethalin, bentazone dan naproanilide. *Sphenoclea zeylanica* sangat rentan terhadap herbisida sulfonilurea termasuk bensulfuron, cinosulfuron, chlorimuron, metsulfuron, pyrazosulfuron dan tribenuron (Sredevi dan Thomas, 1993).

2.5 *Monochoria vaginalis*

Monochoria vaginalis merupakan gulma tipe C3 seperti halnya padi sawah.

Gulma ini menjadi invasif karena memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi melalui perbanyakan vegetatif (Caton *et al.*, 2010). *Monochoria vaginalis* merupakan tumbuhan musiman atau tahunan dengan batang berongga, berdaging, terlihat mengkilap dan memiliki rhizome yang pendek. Termasuk ke dalam golongan tumbuhan air, yang membentuk roset bunga dan penyebarannya melalui stolonya yang pendek. Gulma ini memiliki tinggi 10-50 cm dengan batang semu (Gambar 2). Tumbuhan yang lebih tua sering membentuk rumpun yang besar, namun tidak saling berhubungan satu sama lain.

Di tanaman muda tidak terdapat lamina, daun berukuran panjang 2 - 12,5 cm dan lebar 0,5 – 10 cm, sedangkan pada tanaman yang lebih tua, daunnya mengambang, sejajar atau bertumpukan pada daun yang lebih tua. Daun tersebut berbentuk lingkaran lebar yang menyerupai bentuk hati, dengan warna hijau gelap dan pembuluh tampak melintang di bagian daun. Petiolanya lunak dan berlubang, umumnya panjang kurang dari 30 cm dan tumbuh dari tunas yang berada di dasar tanaman, daun bantalan berbentuk kembar di dasar dan berwarna kemerahan saat masih muda (Holm *et al.*, 1977).

Monochoria vaginalis memiliki taksonomi sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Monocotyledonae
Ordo	: Pontederiales

Famili : Pontederiaceae
Genus : Monochoria
Spesies : *Monochoria vaginalis*



Gambar 2. *Monochoria vaginalis*

Gulma ini biasanya dikendalikan menggunakan butaklor, namun membutuhkan dosis yang tinggi (Parker, 1992). Herbisida lain yang termasuk sensitif meliputi bensulfuron, bentazone, butralin, chlomethoxyfen, cinmethylin, 2,4-D, glifosat, MCPA, oxadiazon, oxyfluorfen, parakuat, pendimethalin, piperophos and pretilaklor. Gulma ini sensitif terhadap herbisida quinclorac dan thiobencarb, tetapi resisten terhadap fenoxaprop (Ampong-Nyarko and De Datta, 1991), dan propanil yang memberikan hasil yang baik (Soerjani *et al.*, 1987). Dalam percobaan di rumah kaca, gulma ini cenderung sangat toleran terhadap pyributicarb (Tsukuda *et al.*, 1993). Gulma ini memiliki pertumbuhan yang cepat dan dikenal sebagai tumbuhan C3 yang kompetitif. Di Taiwan, gulma ini memiliki bobot basah lebih tinggi dibandingkan jenis gulma lainnya di pertanaman padi sawah (Lin, 1968).

2.6 *Cyperus difformis*

Cyperus difformis tergolong dalam gulma musiman dan bervariasi tingginya dari 6 sampai 80 cm. Batangnya halus, segitiga, agak bersayap dan tebal 0,7-3,0 mm. Akarnya banyak, berserat dan kemerahan. Daunnya halus (atau sedikit *scabrid* pada pelepah dan margin), rata, lurus, panjang 5-25 cm atau sering dua pertiga tinggi tanaman, lebar 2-6 mm, kadang-kadang dikurangi menjadi sarungnya (Gambar 3). Selubung berbentuk tabung, bersatu, hijau sampai coklat kemerahan dan tanpa bilah daun di dasar. Infloresensi terdiri dari kepala padat, bulat, umbel, sederhana atau majemuk, berdiameter 5-15 mm, dengan 10-60 spikelet yang menyebar secara melintang. Perbungaannya agak longgar, sederhana atau majemuk, disublimkan dengan 1-4 daun, yang salah satunya bisa mencapai 25 cm (Holm *et al.*, 1977).

Cyperus difformis memiliki taksonomi sebagai berikut :

Kingdom : Plantae
Divisi : Spermatophyta
Subdivisi : Angiospermae
Kelas : Monocotyledonae
Ordo : Cyperales
Famili : Cyperaceae
Genus : *Cyperus*
Spesies : *Cyperus difformis*



Gambar 3. *Cyperus difformis*

Cyperus difformis rentan terhadap herbisida yang biasa digunakan pada padi seperti bensulfuron, bentazon, bifenox + 2,4-D, butachlor, butralin, 2,4-D, MCPA, oxyfluorfen, pendimethalin, piperophos + dimethametryn, pretilachlor + safener (misalnya fenclorim), propanil, thiobencarb dan thiobencarb + 2,4-D. Herbisida padi lainnya yang aktif melawan *Cyperus difformis* adalah cinmethylin dan chlomethoxyfen (Ampong-Nyarko dan DeDatta, 1991). Pyributicarb dilaporkan memiliki aktivitas yang sangat baik melawan *Cyperus difformis* (Tsuzuki, 1990). Paraquat dan glifosat keduanya dapat digunakan sebagai herbisida post-emergence non-selektif melawan *Cyperus difformis*, seperti untuk persiapan lahan dengan menggunakan lahan tanpa pengolahan lahan. Ketahanan terhadap bensulfuron telah dilaporkan terjadi di Amerika Serikat dan Australia (Heap, 1997).

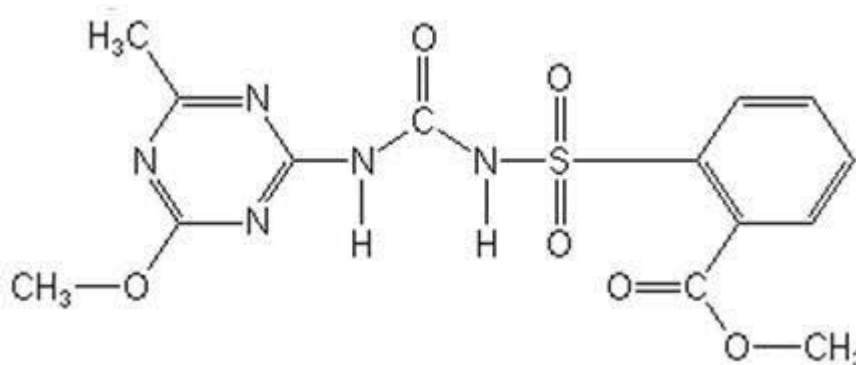
Saat ini terdapat 5 jenis spesies teki yang dilaporkan resisten terhadap ALS inhibitor yaitu *Cyperus brevifolius*, *Cyperus difformis*, *Cyperus iria*, *Cyperus esculentus*, dan *Cyperus odoratus* (Riar *et al.*, 2015). Sementara spesies *Cyperus compressus* dilaporkan telah mengalami resisten terhadap ALS inhibitor di Amerika (McCullogh *et al.*, 2016).

2.7 Metil metsulfuron

Nama umum : Metil metsulfuron

Nama kimia : (methyl 2-[[[4-methoxy-6-methyl-1,3,5-triazin-2-yl)amino]carbonyl]-amino]sulfonyl]benzoate].

Rumus bangun :



Gambar 4. Rumus bangun metil metsulfuron

Metil metsulfuron merupakan salah satu herbisida dari golongan sulfonilurea yang mekanisme kerjanya adalah dengan menghambat pembentukan enzim aseto laktat sintase atau yang lebih dikenal dengan sebutan enzim ALS atau AHAS. Metil metsulfuron pertama kali diperkenalkan pada tahun 1982 oleh Du Pont.

Herbisida ini bersifat sistemik yang dapat terabsorpsi melalui akar dan daun serta ditranslokasikan secara akropetal dan basipetal. Gulma yang peka akan berhenti tumbuh dan segera setelah diaplikasikan akan mati dalam waktu 7 – 21 hari.

Herbisida ini bersifat selektif untuk mengendalikan berbagai gulma pada padi sawah terutama dari golongan daun lebar. Selain itu, herbisida ini juga sering digunakan dalam mengendalikan gulma yang berada di kawasan hutan industri bersama dengan herbisida lainnya (Djojsumarto, 2008).

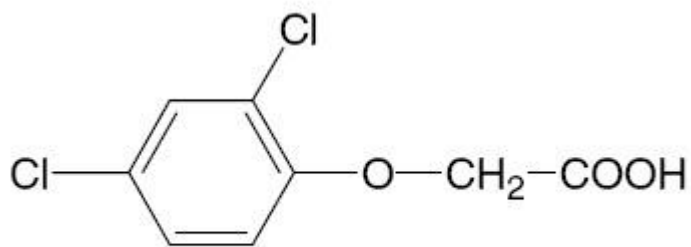
Metil metsulfuron umumnya berbentuk serbuk/tepung bahkan padatan yang berwarna putih pucat dengan aroma seperti ester. Metil metsulfuron memiliki tekanan uap $2,5 \times 10^{-12}$ mm Hg pada suhu 25°C , kelarutan dalam air 548 mg/L pada suhu 25°C dan 2790 mg/L pada pH 7. Herbisida ini memiliki DT 30 hari dalam tanah, dan $\text{LD}_{50} > 5000$ mg/kg (pada tikus). Metil metsulfuron tergolong dalam toksisitas rendah bagi mamalia, kelompok burung, organisme akuatik, lebah dan cacing tanah. Perombakan metil metsulfuron dalam tanah sangat bergantung pada temperatur tanah, kadar kelembapan tanah, dan pH tanah. Herbisida ini akan cepat terdegradasi dalam kondisi pH tanah yang rendah, dan dalam tanah yang kadar kelembapan dan suhu tanah yang tinggi. Dalam kondisi tanah alkali, herbisida ini berpotensi mudah berpindah /terabsorpsi karena kelarutannya yang tinggi. Metil metsulfuron dapat stabil untuk mengalami fotolisis, namun akan terdegradasi dengan adanya sinar UV. Herbisida ini cukup stabil untuk dihidrolisis dalam kondisi netral dan dalam keadaan basa/alkalin. Metil metsulfuron umumnya dijual dengan merek dagang Ally, Escort, Esteem, Metafuron, dan Metsulindo (AgVet Chemicals Program, 2016).

2.8 2,4-D

Nama umum : 2,4-D

Nama kimia : [(2,4-dichlorophenoxy) acetic acid]

Rumus bangun :



Gambar 5. Rumus bangun 2,4-D

2,4-D merupakan salah satu herbisida dari golongan fenoksi yang mekanisme kerjanya seperti hormon auksin yang mampu mengganggu keseimbangan hormon pertumbuhan. Herbisida ini pertama kali dikenal ada tahun 1940 di Amerika. 2,4-D umumnya tersedia dalam tiga bentuk yaitu garam, ester dan asam yang digunakan dalam penggunaan herbisida. Herbisida ini biasanya dapat berupa cairan yang sering tersedia di pasaran, sedangkan bentuk lainnya dapat berupa serbuk atau granular. 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 sereal, perkebunan, bahkan kehutanan (Monaco *et al.*, 2002).

2,4-D berbentuk padatan kristal berwarna putih dengan tekanan uap $1,4 \times 10^{-7}$ mm Hg pada suhu 25°C yang bisa lebih tinggi lagi tergantung pada bentuk 2,4-D, kelarutan dalam air 900 mg/L pada suhu 25°C dan 796 mg/L dalam bentuk garam dimetilamina serta 100 mg/L dalam bentuk ester. Herbisida ini memiliki DT 10 hari dalam tanah, dan $\text{LD}_{50} > 746$ 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. Herbisida ini keberadaannya dalam tanah bergantung pada bentuknya yang terdapat di tanah. 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). 2,4-D umumnya dijual dengan merek dagang Seval (USA), Lindomin, CMA, Dikamin dan Rhodiamine (Indonesia).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Rumah Plastik, Desa Sinar Jaya, Hajimena, Bandar Lampung pada bulan April 2016 hingga bulan Agustus 2016.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan berupa gulma dengan umur satu minggu atau setelah kondisi pulih pasca pengambilan dari sawah . Area pengambilan gulma yang terpapar terhadap herbisida metil metsulfuron dan 2,4 D berada di persawahan Desa Asto Mulyo, Punggur Lampung Tengah. Gulma pembanding yang tidak terpapar menggunakan gulma yang berasal dari lingkungan sawah sekitar rumah plastik (Desa Sinar Jati, Natar Lampung Selatan) yang belum pernah diaplikasikan herbisida dengan kedua bahan aktif metil metsulfuron dan 2,4 D.

Media tumbuh yang digunakan adalah tanah sawah dan dikondisikan dalam keadaan tergenang. Herbisida yang digunakan adalah metil metsulfuron (Ally® 20 WG) dan 2,4- dimetil amina (Lindomin® 865 SL). Sedangkan bahan tambahan lainnya adalah pupuk kandang kotoran sapi dan insektisida berbahan aktif deltametrin 25 g/l.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pot plastik ukuran 9 cm x 10 cm, knapsack sprayer dengan nozzle kipas berwarna biru, gelas ukur, oven, penggaris, kamera digital, SPAD-502 Konica Minolta, dan timbangan analitik.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan terdiri dari dua tahap yaitu tahap pertama berupa survei lapang dan seleksi gulma yang diduga resisten dan tahap kedua uji resistensi gulma. Survei lapang dilakukan di persawahan Desa Asto Mulyo, Punggur Lampung Tengah dan di persawahan sekitar rumah plastik. Seleksi gulma (uji pendahuluan) yang diduga resisten dilakukan di rumah plastik dengan aplikasi herbisida dosis rekomendasi. Uji resistensi gulma dilakukan di rumah plastik. Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan pada Gambar 6.



Gambar 6. Alur penelitian uji resistensi beberapa gulma padi sawah terhadap herbisida metil metsulfuron dan 2,4-D.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Survei Lapang

Tujuan dilakukan kegiatan ini adalah untuk mengumpulkan informasi mengenai keanekaragaman jenis gulma yang diduga mengalami resistensi terhadap herbisida berbahan aktif metil metsulfuron dan 2,4 D. Berdasarkan hasil survei yang dilakukan maka dapat ditentukan jenis gulma diduga resisten yang dapat digunakan sebagai dasar penentuan jenis gulma yang akan digunakan untuk pengujian resistensi terhadap herbisida metil metsulfuron dan 2,4 D. Gulma yang terindikasi resisten meliputi golongan teki dan daun lebar yaitu *Cyperus difformis*, *Cyperus iria*, *Fimbristylis miliacea*, *Ludwigia octovalvis*, *Monochoria vaginalis*, dan *Sphenoclea zeylanica*.

Gulma yang akan diuji menggunakan bagian vegetatif gulma berupa gulma muda dengan stadia pertumbuhan 1 – 3 daun. Cara pengambilan gulma dengan menggunakan alat berupa *scrub* yang berfungsi untuk mengambil tanah bagian bawah sehingga masih menyatu dengan perakaran gulma. Hal ini dilakukan supaya gulma tidak mudah mengalami stres saat pindah tanam. Gulma yang telah didapat kemudian diletakkan ke dalam nampan sebelum di pindah ke media pot plastik.

3.4.2 Seleksi Gulma Hasil Survei

Kegiatan ini bertujuan untuk menyeleksi beberapa jenis gulma hasil survei untuk di uji ke tahap pengujian dosis resistensi terhadap herbisida metil metsulfuron dan 2,4 D. Gulma-gulma yang bertahan hidup setelah pengaplikasian dengan dosis rekomendasi akan digunakan sebagai gulma yang diduga resisten untuk pengujian tingkat resistensi terhadap herbisida. Gulma yang terseleksi yaitu *Monochoria*

vaginalis dan *Sphenoclea zeylanica* untuk pengujian herbisida metil metsulfuron serta *Cyperus difformis* untuk pengujian herbisida 2,4 D.

3.4.3 Penanaman Gulma

Gulma yang terseleksi dipindah ke media percobaan berupa pot plastik bervolume 636 ml dengan ukuran 9 cm x 10 cm. Setiap pot berisi 1 gulma. Media tanam yang digunakan adalah tanah sawah yang sudah ditambah pupuk kandang kotoran sapi. Setelah pindah tanam gulma dipelihara hingga umur 1 - 2 minggu atau setelah kondisi gulma telah pulih kembali.

3.4.4 Pengujian Resistensi Gulma

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui adanya resistensi pada gulma terhadap herbisida metil metsulfuron dan 2,4 D. Percobaan dilakukan terhadap masing-masing gulma yang diduga resisten dan gulma pembanding. Aplikasi herbisida dilakukan setelah bahan tanam dapat beradaptasi atau pulih pada media pot plastik.

Percobaan ini menggunakan rancangan petak terbagi atau *split plot design* dengan tujuh perlakuan dan enam ulangan. Petak utama adalah tempat asal gulma yang terdiri dari 2 taraf yaitu gulma terpapar metil metsulfuron (asal Lampung Tengah) dan tidak terpapar metil metsulfuron (asal Lampung Selatan) untuk gulma *Sphenoclea zeylanica* dan *Monochoria vaginalis* dan gulma terpapar 2,4-D (asal Lampung Tengah) dan tidak terpapar 2,4-D (asal Lampung Selatan) untuk gulma *Cyperus difformis*. Anak petak adalah dosis herbisida metil metsulfuron dan 2,4-D yang terdiri dari tujuh taraf yang ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perlakuan dosis herbisida dalam pengujian resistensi gulma.

Perlakuan	Herbisida metil metsulfuron	Herbisida 2,4-D
	Dosis bahan aktif (g/ha)	
D ₀	0	0
D ₁	4 (rekomendasi)	865 (rekomendasi)
D ₂	8	1730
D ₃	16	3460
D ₄	32	6920
D ₅	64	13840
D ₆	128	27680

Sebelum aplikasi, dilakukan kalibrasi alat semprot untuk menentukan volume semprot. Dari hasil kalibrasi alat semprot diperoleh volume semprot 500 L/ha. Aplikasi herbisida disesuaikan dengan perlakuan. Penyemprotan dilakukan dari dosis tertinggi hingga dosis terendah. Rancangan perlakuan yang digunakan yaitu rancangan petak terbagi (Gambar 7, 8, dan 9).

Ulangan 1

D ₀ G _i	D ₁ G _i	D ₂ G _i	D ₃ G _i	D ₄ G _i	D ₅ G _i	D ₆ G _i	T
D ₀ G _i	D ₁ G _i	D ₂ G _i	D ₃ G _i	D ₄ G _i	D ₅ G _i	D ₆ G _i	TT

Ulangan 2

D ₁ G _i	D ₃ G _i	D ₅ G _i	D ₂ G _i	D ₆ G _i	D ₄ G _i	D ₀ G _i	TT
D ₁ G _i	D ₃ G _i	D ₅ G _i	D ₂ G _i	D ₆ G _i	D ₄ G _i	D ₀ G _i	T

Ulangan 3

D ₆ G _i	D ₀ G _i	D ₄ G _i	D ₃ G _i	D ₁ G _i	D ₅ G _i	D ₂ G _i	T
D ₆ G _i	D ₀ G _i	D ₄ G _i	D ₃ G _i	D ₁ G _i	D ₅ G _i	D ₂ G _i	TT

Ulangan 4

D ₄ G _i	D ₂ G _i	D ₀ G _i	D ₅ G _i	D ₃ G _i	D ₆ G _i	D ₁ G _i	TT
D ₄ G _i	D ₂ G _i	D ₀ G _i	D ₅ G _i	D ₃ G _i	D ₆ G _i	D ₁ G _i	T

Ulangan 5

D ₅ G _i	D ₄ G _i	D ₆ G _i	D ₁ G _i	D ₀ G _i	D ₂ G _i	D ₃ G _i	T
D ₅ G _i	D ₄ G _i	D ₆ G _i	D ₁ G _i	D ₀ G _i	D ₂ G _i	D ₃ G _i	TT

Ulangan 6

D ₃ G _i	D ₆ G _i	D ₁ G _i	D ₀ G _i	D ₂ G _i	D ₅ G _i	D ₄ G _i	TT
D ₃ G _i	D ₆ G _i	D ₁ G _i	D ₀ G _i	D ₂ G _i	D ₅ G _i	D ₄ G _i	T

Keterangan :

T	: Terpapar metil metsulfuron	TT	: Tidak terpapar metil metsulfuron
D ₀	: Kontrol	D ₁	: Dosis 5 g/ha
D ₂	: Dosis 10 g/ha	D ₃	: Dosis 20 g/ha.
D ₄	: Dosis 40 g/ha	D ₅	: Dosis 80 g/ha
D ₆	: Dosis 160 g/ha	G _i	: <i>Sphenoclea zeylanica</i>

Gambar 7. Tata letak percobaan uji resistensi gulma *Sphenoclea zeylanica* terhadap herbisida metil metsulfuron.

Ulangan 1

D ₀ G _m	D ₁ G _m	D ₂ G _m	D ₃ G _m	D ₄ G _m	D ₅ G _m	D ₆ G _m	T
D ₀ G _m	D ₁ G _m	D ₂ G _m	D ₃ G _m	D ₄ G _m	D ₅ G _m	D ₆ G _m	TT

Ulangan 2

D ₁ G _m	D ₃ G _m	D ₅ G _m	D ₂ G _m	D ₆ G _m	D ₄ G _m	D ₀ G _m	TT
D ₁ G _m	D ₃ G _m	D ₅ G _m	D ₂ G _m	D ₆ G _m	D ₄ G _m	D ₀ G _m	T

Ulangan 3

D ₆ G _m	D ₀ G _m	D ₄ G _m	D ₃ G _m	D ₁ G _m	D ₅ G _m	D ₂ G _m	T
D ₆ G _m	D ₀ G _m	D ₄ G _m	D ₃ G _m	D ₁ G _m	D ₅ G _m	D ₂ G _m	TT

Ulangan 4

D ₄ G _m	D ₂ G _m	D ₀ G _m	D ₅ G _m	D ₃ G _m	D ₆ G _m	D ₁ G _m	TT
D ₄ G _m	D ₂ G _m	D ₀ G _m	D ₅ G _m	D ₃ G _m	D ₆ G _m	D ₁ G _m	T

Ulangan 5

D ₅ G _m	D ₄ G _m	D ₆ G _m	D ₁ G _m	D ₀ G _m	D ₂ G _m	D ₃ G _m	T
D ₅ G _m	D ₄ G _m	D ₆ G _m	D ₁ G _m	D ₀ G _m	D ₂ G _m	D ₃ G _m	TT

Ulangan 6

D ₃ G _m	D ₆ G _m	D ₁ G _m	D ₀ G _m	D ₂ G _m	D ₅ G _m	D ₄ G _m	TT
D ₃ G _m	D ₆ G _m	D ₁ G _m	D ₀ G _m	D ₂ G _m	D ₅ G _m	D ₄ G _m	T

Keterangan :

- T : Terpapar metil metsulfuron TT : Tidak terpapar metil metsulfuron
D₀ : Kontrol D₁ : Dosis 5 g/ha
D₂ : Dosis 10 g/ha D₃ : Dosis 20 g/ha.
D₄ : Dosis 40 g/ha D₅ : Dosis 80 g/ha
D₆ : Dosis 160 g/ha G_m : *Monochoria vaginalis*

Gambar 8. Tata letak percobaan uji resistensi gulma *Monochoria vaginalis* terhadap herbisida metil metsulfuron.

Ulangan 1

D ₀ G _z	D ₁ G _z	D ₂ G _z	D ₃ G _z	D ₄ G _z	D ₅ G _z	D ₆ G _z	T
D ₀ G _z	D ₁ G _z	D ₂ G _z	D ₃ G _z	D ₄ G _z	D ₅ G _z	D ₆ G _z	TT

Ulangan 2

D ₁ G _z	D ₃ G _z	D ₅ G _z	D ₂ G _z	D ₆ G _z	D ₄ G _z	D ₀ G _z	TT
D ₁ G _z	D ₃ G _z	D ₅ G _z	D ₂ G _z	D ₆ G _z	D ₄ G _z	D ₀ G _z	T

Ulangan 3

D ₆ G _z	D ₀ G _z	D ₄ G _z	D ₃ G _z	D ₁ G _z	D ₅ G _z	D ₂ G _z	T
D ₆ G _z	D ₀ G _z	D ₄ G _z	D ₃ G _z	D ₁ G _z	D ₅ G _z	D ₂ G _z	TT

Ulangan 4

D ₄ G _z	D ₂ G _z	D ₀ G _z	D ₅ G _z	D ₃ G _z	D ₆ G _z	D ₁ G _z	TT
D ₄ G _z	D ₂ G _z	D ₀ G _z	D ₅ G _z	D ₃ G _z	D ₆ G _z	D ₁ G _z	T

Ulangan 5

D ₅ G _z	D ₄ G _z	D ₆ G _z	D ₁ G _z	D ₀ G _z	D ₂ G _z	D ₃ G _z	T
D ₅ G _z	D ₄ G _z	D ₆ G _z	D ₁ G _z	D ₀ G _z	D ₂ G _z	D ₃ G _z	TT

Ulangan 6

D ₃ G _z	D ₆ G _z	D ₁ G _z	D ₀ G _z	D ₂ G _z	D ₅ G _z	D ₄ G _z	TT
D ₃ G _z	D ₆ G _z	D ₁ G _z	D ₀ G _z	D ₂ G _z	D ₅ G _z	D ₄ G _z	T

Keterangan :

T : Terpapar 2,4-D

TT : Tidak 2,4-D

D₀ : KontrolD₁ : Dosis 865 g/haD₂ : Dosis 1730 g/haD₃ : Dosis 3460 g/ha.D₄ : Dosis 6920 g/haD₅ : Dosis 13840 g/haD₆ : Dosis 27680 g/haG_z : Gulma *Cyperus difformis*

Gambar 9. Tata letak percobaan uji resistensi gulma *Cyperus difformis* terhadap herbisida 2,4-D.

3.5 Variabel Pengamatan

Variabel yang diamati dalam penelitian ini terdiri dari gejala keracunan gulma, persentase keracunan gulma, kandungan klorofil daun gulma, dan bobot kering gulma.

3.5.1 Gejala Keracunan Gulma

Pengamatan ini dilakukan bersamaan dengan pengamatan persentase keracunan gulma yaitu pada 3 HSA, 5 HSA, 7 HSA, 9 HSA, 11 HSA, dan 13 HSA.

Perubahan yang terjadi mulai dari perubahan bentuk dan warna digunakan sebagai indikator untuk melihat gejala keracunan terhadap herbisida.

3.5.2 Persentase Keracunan Gulma (%)

Persen keracunan gulma merupakan persentase tiap spesies gulma yang menunjukkan gejala keracunan yang timbul setelah aplikasi dalam satu waktu.

Pengamatan dilakukan dengan melihat dan menduga secara visual kondisi fisik gulma yang diamati. Pengamatan dilakukan setelah terjadi perubahan pada kondisi fisik gulma yang dapat terlihat dari daun, pucuk atau batang.

3.5.3 Tingkat Kehijauan Daun

Kehijauan daun diamati dengan cara menempelkan daun gulma yang dijadikan sampel pengamatan pada alat pengukur klorofil (SPAD-502). Alat tersebut akan mengukur tingkat kehijauan pada daun dalam satuan unit dan nilai unit akan muncul pada layar. Pengukuran dilakukan pada helai daun ke-3 sampai ke-5 dari pucuk kemudian hasil ketiganya dirata-rata. Pengukuran dilakukan di satu titik pada daun sekitar 1 cm dari tepi daun dan tiga perempat dari panjang daun.

3.5.4 Bobot Kering (g)

Pemanenan gulma dilakukan pada akhir pengamatan kemudian gulma dipisahkan antara gulma yang terpapar (diduga resisten) dan gulma yang non terpapar.

Masing-masing perlakuan ditempatkan di dalam kantong kertas dan diberi label, kemudian dioven pada suhu 80 °C selama 2 hari, kemudian ditimbang untuk memperoleh data bobot kering.

3.6 Analisis Data

3.6.1 Persentase Kerusakan Gulma

Data bobot kering yang diperoleh selanjutnya dikonversi menjadi nilai persentase kerusakan gulma. Persentase kerusakan gulma dapat diperoleh melalui rumus sebagai berikut :

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

Keterangan :

P = nilai bobot kering gulma dengan perlakuan herbisida

K = nilai bobot kering gulma kontrol

Data persentase kerusakan yang diperoleh selanjutnya dikonversi ke dalam nilai probit. Dari nilai probit (y) dan log dosis (x) akan diperoleh persamaan regresi linier sederhana.

3.6.2 LT₅₀ (Median Lethal Time)

Nilai LT₅₀ diperoleh melalui persamaan regresi linear $Y = a + bX$, dimana Y adalah nilai probit dari persentase keracunan dan X adalah nilai log hari pengamatan persentase keracunan (Guntoro dan Fitri, 2013).

3.6.3 LD₅₀

Data persentase kerusakan yang diperoleh selanjutnya dikonversi ke dalam nilai probit. Dari nilai probit (y) dan log dosis (x) akan diperoleh persamaan regresi linier sederhana. Nilai LD₅₀ diperoleh melalui persamaan regresi linear $Y = a + bX$, dimana Y adalah nilai probit dari persentase kerusakan dan X adalah nilai log dosis herbisida (Guntoro dan Fitri, 2013).

3.6.4 Nisbah Resistensi Gulma

Nisbah resistensi gulma didapat melalui rasio perbandingan nilai LD₅₀ populasi gulma terpapar terhadap populasi gulma tidak terpapar. Rasio perbandingan tersebut yang menentukan gulma berada dalam status resistensi atau sensitif. Menurut Ahmad-Hamdani, *et al.* 2012, penggolongan gulma berdasarkan nisbah resistensi adalah sebagai berikut : Resistensi tinggi apabila nisbah gulma terpapar dan non terpapar bernilai (>12), Resistensi sedang apabila nisbah gulma terpapar dan non terpapar bernilai (6 – 12), Resistensi rendah apabila nisbah gulma terpapar dan non terpapar bernilai (3 – 5) dan Sensitif apabila nisbah gulma terpapar dan non terpapar bernilai (<2).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. *Sphenoclea zeylanica* yang terpapar metil metsulfuron menunjukkan resistensi tingkat tinggi terhadap herbisida metil metsulfuron dengan nisbah resistensi 131, sedangkan *Monochoria vaginalis* yang terpapar metil metsulfuron tergolong sensitif terhadap herbisida metil metsulfuron dengan nisbah resistensi 1.
2. *Cyperus difformis* yang terpapar 2,4-D tergolong sensitif terhadap herbisida 2,4-D dengan nisbah resistensi 1,4.
3. Resistensi terhadap metil metsulfuron tidak ditemukan pada *Monochoria vaginalis* dan tidak ditemukan resistensi terhadap 2,4-D pada *Cyperus difformis*.
4. Resistensi terhadap metil metsulfuron menyebabkan bobot kering dan tingkat kehijauan daun pada *Sphenoclea zeylanica* lebih tinggi dibandingkan dengan *Sphenoclea zeylanica* yang tidak terpapar dan sensitif terhadap metil metsulfuron.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, penulis menyarankan untuk melakukan uji resistensi pada turunan gulma *Sphenoclea zeylanica* yang terpapar untuk melihat pewarisan sifat resisten terhadap metil metsulfuron dan uji biomolekuler pada gulma *Sphenoclea zeylanica* yang terpapar untuk melihat perubahan aktivitas enzim yang terjadi akibat resistensi terhadap herbisida metil metsulfuron.

DAFTAR PUSTAKA

- Abeles, F.B. 1972. *Biosynthesis and Mechanism of Action of Ethylene*. *Annu. Rev. Plant Physiology* 23 : 259 – 292.
- AgVet Chemicals Program. 2016. *AgVet Chemicals Information Sheet : Metsulfuron-Methyl*. Departement of Primary Industries, Parks, Water and Environment. Tasmanian Government.
- Ahmad-Hamdani M.S., M.J. Owen, Yu Qin, dan S.B. Powles. 2012. *ACCase-Inhibiting Herbicide-Resistance Avena spp. Populations from the Western Australian Grain Belt*. *Weed Technology*. 26 : 130 – 136.
- Ampong-Nyarko, K dan S.K. de Datta, 1991. *Handbook for weed control in rice*. Manila, Philippines: International Rice Research Institute.
- Anderson, W.P. 2007. *Weed Science : Principles and Applications*, 3rd ed. Illinois : Waveland Press Inc. 388 hlm.
- Ashton, F.M. dan A.S. Crafts. 1981. *Mode of Action of Herbicides*, 2nd ed. New York : John Wiley & Sons Inc. 525 hlm.
- Beckie, H. dan T.M. Wolf. 2014. *How Herbicide Work : Biology to Application*. reprinted eds. Canada : Alberta Agriculture and Rural Development. 146 hlm.
- Bellinder, R. R., G. Gummesson, dan C. Karlsson. 1994. *Percentage driven government mandates for pesticide reduction: the Swedish model*. *Weed Technol.* 8 : 350–359.
- Boudec, P., M. Rodgers, F. Dumas, A. Sailland, dan H. Bourdon. 2001. *Mutated hydroxyphenylpyruvate dioxygenase, DNA sequence and isolation of plants which contain such a gene and which are tolerant to herbicides*. U.S. Patent 6 : 245-968.
- Bourgeois, L., N.C. Kenkel, dan I. N. Morrison. 1997. *Characterization of cross-resistance patterns in acetyl-CoA carboxylase inhibitor resistant wild oat (Avena fatua)*. *Weed Sci.* 45 : 750–755.
- Boutsalis, P. 2001 . *Syngenta quick-test: A rapid whole-plant test for herbicide resistance*. *Weed Technol.* 15 : 257–263.

- Breccia, G., T. Vega, G. Nestares, M. L. Mayor, R. Zorzoli, dan L. Picardi. 2011. *Rapid test for detection of imidazolinone resistance in sunflower (Helianthus annuus L.)*. Plant Breed. 130 : 109–113.
- Burke, I. C., W. E. Thomas, J. D. Burton, J. F. Spears, dan J. W. Wilcut. 2006. *A seedling assay to screen aryloxyphenoxypropionic acid and cyclohexanedione resistance in johnsongrass (Sorghum halepense)*. Weed Technol. 20 : 950–955.
- Burke, I. C., J. P. Yenish, D. Pittmann, dan R. S. Gallagher. 2009. *Resistance of a prickly lettuce (Lactuca serriola) biotype to 2,4-D*. Weed Technol. 23 : 586–591.
- Busch, M., K. Fischer, B. Laber, dan A. Sailland. 2011. *New mutated hydroxyphenylpyruvate dioxygenase, DNA sequence and isolation of plants which are tolerant to HPPD inhibitor herbicides*. U.S. Patent Application 20110039706.
- Carey III, V.F. 1992. *Reduced and Standard Herbicide Rates for Grass Control in Dry Seeded in Rice (Oryza sativa)*. Weed Techn. 6 : 409 – 414.
- Carvalho, S.J.P., M. Nicolai, R. R. Ferreira, A. V. de Oiveiera Figueira, dan P. J. Christoffoleti. 2009. *Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages*. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.) 66:136–142.
- Caton, B.P., M. Mortimer, J.E. Hill, dan E. Johnson. 2010. *A Practical Field Guide to Weeds of Rice in Asia*. 2nd Edition. International Rice Research Institute. Los Banos.
- Christoper, J.T., S.B. Powles, D.R. Liljegrán, dan J.A.M. Holtum. 1991. *Cross resistance to herbicides in annual ryegrass (Lolium rigidum)*. Plant Physiology 95 : 1036 – 1043.
- Claude, J.P., A. Didier, P. Favier, dan P. P. Thalinger. 2004. *Epidemiological study of blackgrass (Alopecurus myosuroides Huds.) herbicide resistance in cereal crops through the analysis of a European database*. In: Proc. of the XII Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes, Paris., Pp. 567–574.
- Coupland, D. 1994. *Resistance to auxin analog herbicides*. Pages 171–214 in S. B. Powles and J.A.M. Holtum, eds. *Herbicide Resistance in Plants: Biology and Biochemistry*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, CRC Press.
- Cummins, I. dan R. Edwards. 2010. *The biochemistry of herbicide-resistance in weeds*. Outlooks Pest Manag. 21:73–77.

- Cussan, G.W. dan S.R. Moss. 1982. Population dynamics of annual grass weeds. Dalam *British Crop Protection Symposium : Decision Making In the Practice of Crop Protection*. Prosiding. Crydon : British Crop Protection Council. Hal 91 – 98.
- De'lye, C., E. Calme`s, dan A. Mate`jicek. 2002. *SNP markers for black-grass (Alopecurus myosuroides Huds.) genotypes resistant to acetyl CoA-carboxylase inhibiting herbicides*. *Theor. Appl. Genet.* 104:1114–1120.
- Djojosumarto, P. 2008. *Teknik Aplikasi Pestisida Pertanian Edisi Revisi*. Kanisius. Yogyakarta
- Gerwick, B. C., M. V. Subramanian, dan V. I. Loney-Gallant. 1990. *Mechanism of action of the 1,2,4-triazolo[1,5-a]pyrimidines*. *Pestic. Sci.* 29 : 357–364.
- Gerwick, B. C., L. C. Mireles, dan R. J. Eilers. 1993. *Rapid diagnosis of ALS/AHAS-resistant weeds*. *Weed Technol.* 7 : 519–524.
- GRDC. 2008. *Herbicide Resistance (Mode of Action Groups)*. GRDC dan CropLife Australia. 6 hlm.
- Guntoro, Dwi dan T. Yuda Fitri. 2013. *Aktivitas Herbisida Campuran Bahan Aktif Cyhalofop-Butyl dan Penoxsulam terhadap Beberapa Jenis Gulma Padi Sawah*. *Bul. Agrohorti* 1 (1) : 140 - 148 (2013).
- Guttieri, M.J., C.V. Eberlein dan D.C. Thill. 1995. *Divers mutation in the acetolactate synthase gene confer chlorsulfuron resistance in kochia (Kochia scoparia) biotypes*. *Weed Sci.* 43 : 175-178.
- Hager, A.G. dan Refsell, D. 2008. *Chapter 13: Herbicides Persistence and How to Test for Residues in Soils*. In: *Illinois Agricultural Pest Management Handbook*, University of Illinois Extension, Urbana, 279-286.
- Hall, L.M., J.A.M. Holtum dan S.B. Powles. 1994. *Mechanisms responsible for cross resistance and multiple resistance*. Pages 243-262 in S.B. Powles and J.A.M. Holtum, eds. *Herbicide Resistance in Plants : Biology and Biochemistry*. Ann Arbor,MI : Lewis.
- Hammond, E. 2010. *Genetically Engineered Backslide: The Impact Of Glyphosate Resistant Palmer Pigweed On Agriculture In The United States*. Third World Network.
- Hanson, B., A. Shrestha, dan D. Shaner. 2009. *Distribution of glyphosateresistant horseweed (Conyza canadensis) and relationship to cropping systems in the Central Valley of California*. *Weed Sci.* 57 : 48–53.
- Hanson, J.B. dan F.W. Slife. 1961. *How does 2,4-D kill a plant?*. *Illinois Res.* 3 : 3-4.

- Heap, I. 1997. *The occurrence of herbicide-resistant weeds worldwide*. Pesticide Science 51 : 235-243.
- Heap, I. 2002. *The International Survey of Herbicide Resistant Weeds*. Online. Internet. Diakses pada Juli 2002.
- Heap, I. 2011. *The International Survey of Herbicide Resistant Weeds*. Online. Internet. Diakses pada Februari 2011.
- Heap, I. 2015. *The International Survey of Herbicide Resistant Weeds*. Online. Internet. Diakses pada hari Rabu, 16 Desember 2015.
- Holm, L.G., D.L. Plucknett, J.V. Pancho, dan J.P. Herberger, 1977. *The World's Worst Weeds. Distribution and Biology*. Honolulu, Hawaii, USA: University Press of Hawaii.
- Holm, R.E. dan F. B. Abeles. 1968. *The role of ethylene in 2,4-D-induced growth inhibition*. Planta 78 : 293 – 304.
- Huan, Z., H. Zhang, Z. Hou, S. Zhang, Y. Zhang, W. Liu, Y. Bi, dan J. Wang. 2011. *Resistance level and metabolism of barnyardgrass (Echinochloa crus-galli L. Beauv.) populations to quizalofop-P-ethyl in Heilongjiang province, China*. Agric. Sci. China 10 : 1914–1922.
- Jasieniuk, M., I. N. Morrison, dan A. L. Brule-Babel. 1995. *Inheritance of dicamba resistance in wild mustard (Brassica kaber)*. Weed Sci. 43 : 192–195.
- Jervais, G., B. Luukinen, K. Buhl, dan D. Stone. 2008. *2,4-D Technical Fact Sheet*. National Pesticide Information Center. USA : Oregon State University Extension Services.
- Jugulam, M., M. D. McLean, dan J. C. Hall. 2005. *Inheritance of picloram and 2,4-D resistance in wild mustard (Brassica kaber)*. Weed Sci. 53 : 417–423.
- Kang, B. G., W. Newcomb, dan S.P. Burg. 1971. *Mechanism of auxin-induced ethylene production*. Plant Physiol. 47 : 504 – 509.
- Kaundun, S. S., R. P. Dale, I. A. Zelaya, G. Dinelli, I. Marotti, E. McIndoe, dan A. Cairns. 2011. *A novel P106L mutation in EPSPS and an unknown mechanism(s) act additively to confer resistance to glyphosate in a South African Lolium rigidum population*. J. Agric. Food Chem. 59 : 3227–3233.
- Khodayati, K.P. 1989. *Fenoxaprop for Grass Control in Dry Seeded in Rice (Oryza sativa)*. Weed Techn. 3 : 131 – 135.

- Letouze', A. dan J. Gasquez. 2000. *A pollen test to detect ACCase target-site resistance within Alopecurus myosuroides populations*. Weed Res. 40 : 151–162.
- Lin C, 1968. *Weeds found on cultivated land in Taiwan*. Vol 1 dan 2. Taipei, Taiwan: College of Agriculture, National Taiwan University.
- McCullough, P.E., J. Yu, J.S. McElroy, S. Chen, H. Zhang, T.L. Grey, dan M.A. Czarnota. 2016. ALS-Resistant Annual Sedge (*Cyperus compressus*) Confirmed in Turfgrass. Weed Science. 64 : 33-41.
- McCullough P.E., J.S. McElroy, J. Yu, H. Zhang, T.B. Miller, S. Chen, C.R. Johnston, dan M. A. Czarnota. 2016. *ALS-Resistant Spotted Spurge (Chamaesyce maculata) Confirmed in Georgia*. Weed Science, 64 (2) : 216 - 222.
- Mercado, B.L., De Datta S.K, Migo T.R, dan Baltazar A.M. 1990. *Growth behaviour and leaf morphology of Philippine strains of Sphenoclea zeylanica showing differential response to 2,4-D*. Weed Research (Oxford), 30 (4) : 245-250.
- Minshall, W.H. 1957. *Primary place of action and symptoms induced in plants by 3-(4-chlorophenyl)-1,1-dimethylurea*. Can. J. Plant Sci. 37 : 157-166.
- Mohammadi, G.R. 2007 . *Growth parameters enhancing the competitive ability of corn (Zea mays L.) against weeds*. Weed Biology and Management. 7 : 232-236.
- Monaco T.J., S. C. Weller, dan F. M. Ashton. 2002. *Weed Science : Principles and Practices 4th edition*. John Wiley and Sons Inc. USA.
- Moss, S. 1999. *Detecting herbicide resistance: guidelines for conducting diagnostic tests and interpreting results*. Herbicide Resistance Action Committee(HRAC).<http://www.hracglobal.com/Publications/DetectingHerbicideResistance/>. Diakses pada : Februari 10, 2016.
- 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.
- Neve, P. 2007. *Challenges for herbicide resistance evolution and management: 50 years after Harper*. Weed Res. 47 : 365–369.
- Noor, Sutisna. 1997. *Pengendalian Gulma di Lahan Pasang Surut*. Proyek Penelitian Pengembangan Pertanian Rawa Terpadu-ISDP-Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Osuna M.D., F. Vidotto, A.J. Fischer, D.E. Bayer, R. De Prado, dan A. Ferrero. 2002. *Cross resistance to bispyribac-sodium and bensulfuron-methyl in*

Echinochloa phyllopogon and *Cyperus difformis*. Pestic Biochem Physiol 73 : 9 – 17.

- Parker C, 1992. *Weeds of Bhutan*. Weeds of Bhutan. 236 hlm.
- Pitoyo, J. 2006. *Mesin penyiang gulma padi sawah bermotor*. Sinar Tani.7 : 5-11.
- Powles, S. B. dan C. Preston. 2006. *Evolved glyphosate resistance in plants: biochemical and genetic basis of resistance*. Weed Technol. 20 : 282–289.
- Purba, E. 2009. Keanekaragaman herbisida dalam pengendalian gulma mengatasi populasi gulma resisten dan toleran herbisida. *Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap dalam Bidang Ilmu Gulma*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Ray, T. B. 1984. *Site of action of chlorsulfuron*. Plant Physiol. 75:827– 831.
- Riar, D.S., P. Tehranchian, J.K. Norsworthy, V. Nandula, S. McElroy, V. Srivastava, S. Chen, dan R.C. Scott .2015. *Acetolactate synthase–inhibiting herbicide resistant rice flatsedge (Cyperus iria): cross resistance and molecular mechanisms of resistance*. Weed Sci 63 : 748–757.
- Saari, L. L., J. C. Cotterman, dan D. C. Thill. 1994. *Resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides*. Hal. 83–139 dalam S. B. Powles and J.A.M. Holtum, eds. *Herbicide Resistance in Plants: Biology and Biochemistry*. Ann Arbor, MI: Lewis.
- Sabba, R. P., I. M. Ray, N. Lownds, dan T. M. Sterling. 2003. *Inheritance of resistance to clopyralid and picloram in yellow starthistle (Centaurea solstitialis) is controlled by a single nuclear recessive gene*. J. Hered. 94 : 523–527.
- Santhakumar. 2012. *Herbicide-Resistance Management in Developing Countries in Weed Management for Developing Countries*. FAO Plant Production and Protection Paper 120 hlm.
- Sastroutomo, S.S. 1994. *Appropriate Weed Control in Southeast Asia*. Oxford University Press.
- Shaner, D.L. 1999. *Resistance to acetolactate synthase (ALS) inhibitors in the United States: history, occurrence, detection, and management*. J Weed Sci Technol 44 : 405–411.
- Shaner, D. L., P. C. Anderson, dan M. A. Stidham. 1984. *Imidazolinones: potential inhibitors of acetohydroxyacid synthase*. Plant Physiol. 76 : 545–546.

- Shaner, D. L. 1991. *Physiological effects of the imidazolinone herbicides*. Hal. 129–138 dalam D. L. Shaner dan S. L. O'Connor, eds. *The Imidazolinone Herbicides*. Ann Arbor, MI: Lewis.
- Shaner, D. L., T. Nadler-Hassar, B. Henry, dan C. Koger. 2005. *A rapid in vivo shikimate accumulation assay with excised leaf discs*. *Weed Sci.* 53 : 769–774.
- Singh, B. J. dan D. L. Shaner. 1998. *Rapid determination of glyphosate injury to plants and identification of glyphosate-resistant plants*. *Weed Technol.* 12 : 527–530.
- Singh, D. 2009. *Understanding 2,4-D resistance in prickly lettuce (Lactuca serriola) and evaluating chemical fallow systems for the inland PNW*. Ph.D. dissertation. Pullman, WA: Washington State University. 159 hlm.
- Soerjani, M. 1987. *Weed of Rice in Indonesia*. Jakarta : Balai Pustaka. 716 hlm.
- Sreedevi, P dan Thomas C.G. 1993. *Efficiency of anilofos on the control of weeds in direct sown puddled rice. Integrated weed management for sustainable agriculture*. Proceedings of an Indian Society of Weed Science International Symposium, Hisar, India, 18-20 November 1993 Hisar, Haryana, India; Indian Society of Weed Science, Vol. III:16-18.
- Steinmaus, S.J., T.S. Prather, dan J.S. Holt. 2000. *Estimation of Base Temperatures for Nine Weed Species*. *Journal of Experimental Botany* 343 : 275 – 286.
- Stidham, M.A. 1991. *Herbicides that inhibit acetohydroxyacid synthase*. *Weed Sci.* 39 : 428 – 434.
- Stoynova, E., P. Petrov, dan S. Semerdjieva. 1997. *Some effects of chlorsulfuron on the ultrastructure of root and leaf cells in pea plants*. *J. Plant Growth Reg.* 16 : 1-5.
- Takahashi, S., S. Shigematsu, dan A. Morita. 1991. *KIH-2031, a new herbicide for cotton*. Hal. 57–62 dalam Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference. Farnham, U.K.: Brighton Crop Protection Council.
- Tharayil-Santhakumar, N. 2004. *Mechanism of Herbicide Resistance in Weeds*. <http://www.weedscience.org/paper/MechanismofHerbicideResistance.pdf>. 38 hlm. Diakses: Maret 27, 2016.
- Tranel, P. J. and T. R. Wright. 2002. *Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned?* *Weed Sci.* 50 : 700–712.

- Trezzi, M.M., C.L. Felippi, D. Mattei, H.L. Silva, A.L. Nunes, C. Debastiani, R.A. Vidal, dan A. Maques. 2005. *Multiple resistance to acetolactate synthase and protoporphyrinogen oxidase inhibitors in Euphorbia heterophylla biotypes*. J Environ Sci Health Part B Pestic Food Contam Agric Wastes 40 : 101 – 109.
- Tsukuda, K., M. Murakami, H. Morinaka, K. Tsuzuki, N. Ichizen, M. Konnai, dan T Takematsu. 1993. *Herbicidal and phytotoxic properties of pyributicarb, a new paddy herbicide, and its movement in soil*. Weed Research (Tokyo). 38(3) : 175-181.
- Tsuzuki, K. 1990. Pyributicarb (TSH-888). *A new herbicide for rice*. Japan Pesticide Information, No. 57 : 30.
- Umbarger, H. E. 1978. *Amino acid biosynthesis and its regulation*. Annu. Rev. Biochem. 47 : 533–606.
- Van Eerd, L. L., M. D. McLean, G. R. Stephenson, dan J. C. Hall. 2004. *Resistance to quinclorac and ALS-inhibitor herbicides in Galium spurium is conferred by two distinct genes*. Weed Res. 44 : 355–365.
- Vencill, W.K., R.L. Nichols, T.M. Webster, J.K. Soteres, C. M-Smith, N.R. Burgos, W.G. Johnson, dan M. R. McClelland. 2012. *Herbicide Resistance: Toward an Understanding of Resistance Development and the Impact of Herbicide-Resistant Crops*. Weed Science 2012 Special Issue:2–30
- Whaley, C.M., H.P. Wilson, dan J.H. Westwood .2006. *ALS resistance in several smooth pigweed biotypes*. Weed Sci 54 : 828–832.
- WSSA. 2017. *Herbicide Resistance*. <http://wssa.net/wssa/weed/resistance>. Diakses pada Januari 2017.
- Xu, X., G. Q. Wang, S. L. Chen, C. Q. Fan, dan B. H. Li. 2010. *Confirmation of flixweed (Descurainia sophia) resistance to tribenuron-methyl using three different assay methods*. Weed Sci. 58 : 56–60.
- Yuan, J. S., P. J. Tranel, dan C. N. Stewart, Jr. 2007. *Non-target-site herbicide resistance: a family business*. Trends Plant Sci. 12 : 6–13.
- Zheng, D.M., G.R. Kruger, S. Singh, V.M. Davis, P.J. Tranel, S.C. Weller, dan W.G. Johnson. 2011. *Cross-resistance of horseweed (Conyza canadensis) populations with three different ALS mutations*. Pest Manag Sci 67 : 1486–1492.