

MANAJEMEN GULMA RESISTEN TERHADAP HERBISIDA DI PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

Saidah Putri Rambe*, Tjut Ahmad Perdana Rozziansha, Hari Priwiratama, dan Agus Eko Prasetyo

Abstrak - Kehadiran gulma menimbulkan permasalahan pada perkebunan kelapa sawit. Pengendalian gulma dengan aplikasi herbisida masih menjadi metode utama. Namun, dampak serius yang dapat muncul adalah timbulnya sifat resistensi gulma terhadap herbisida. Resistensi herbisida dapat diartikan sebagai kemampuan yang diwariskan oleh tumbuhan untuk dapat bertahan terhadap paparan herbisida pada dosis normal atau dosis yang dianjurkan. Secara umum, mekanisme resistensi herbisida dikelompokkan pada dua kategori, yaitu *target-site resistance* dan *non-target site resistance*. Selain itu, aplikasi herbisida yang tidak bijak juga dapat menjadi faktor timbulnya sifat resisten. Kasus resistensi gulma terhadap herbisida pada perkebunan kelapa sawit dilaporkan di Malaysia pada gulma *Clidemia hirta*, *Eleusine indica*, dan *Hedyotis verticillata*, sementara di Indonesia dilaporkan pada gulma *E. indica*. Penghambatan laju resistensi herbisida dapat dilakukan dengan manajemen resistensi berupa rotasi bahan aktif dan kombinasi herbisida. Rotasi bahan aktif herbisida merupakan pengaplikasian herbisida dengan bahan aktif yang memiliki cara kerja berbeda. Kombinasi herbisida dapat dilakukan dengan mencampurkan beberapa bahan aktif herbisida yang memiliki perbedaan cara kerja dan memiliki efikasi yang tinggi pada gulma target.

Kata kunci: cara kerja, *Eleusine indica*, kombinasi bahan aktif, rotasi bahan aktif

PENDAHULUAN

Gulma kelapa sawit dapat didefinisikan sebagai tumbuhan yang tidak diinginkan dan diharapkan di perkebunan kelapa sawit. Gulma merupakan kompetitor kuat dalam perebutan air dan unsur hara. Selain itu, kehadiran gulma dapat mengganggu kegiatan pengutipan brondolan, menjadi inang alternatif bagi hama dan penyakit hingga mengganggu tata kelola air di lahan gambut. Dalam jangka panjang, keberadaan gulma dapat menyebabkan peningkatan biaya pemeliharaan, penurunan efisiensi pemupukan hingga penurunan produksi kelapa sawit (Corley & Tinker, 2016; Hakim et al., 2020).

Pertumbuhan gulma yang tidak terkendali dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 6-20% (Sahid et al., 1992). Sebagai contoh, gulma *Mikania micrantha* berpotensi menurunkan produksi tandan buah segar (TBS) hingga 20% (Rambe et al., 2010).

Sementara itu, populasi *Asystasia gangetica* yang tidak terkendali dilaporkan dapat mengurangi potensi produksi TBS (Kustyanti & Horne, 1991). Kerugian akibat invasi gulma di perkebunan kelapa sawit berdampak pada penambahan biaya pengendalian. Prasetyo dan Zaman (2016) melaporkan penambahan biaya pengendalian akibat invasi gulma *M. micrantha*, *Imperata cylindrica* dan *Paspalum conjugatum* di wilayah Jambi, dengan nilai sebesar berturut-turut 38,1, 59,9, dan 43,4 juta rupiah.

Pengendalian gulma yang lazim digunakan dan masih menjadi metode utama adalah aplikasi herbisida. Metode ini dipilih karena lebih praktis, hemat waktu, dan menguntungkan dibandingkan pengendalian dengan metode lain (Hakim et al., 2020). Penggunaan herbisida harus dilakukan sesuai dengan aturan untuk menghindari timbulnya sifat resistensi gulma terhadap herbisida (Umuyati et al., 2023).

MEKANISME RESISTENSI PADA GULMA

Resistensi herbisida dapat diartikan sebagai kemampuan yang diwariskan oleh tumbuhan untuk dapat bertahan terhadap paparan herbisida yang pada dosis normal atau dosis yang dianjurkan (HRAC,

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Saidah Putri Rambe* (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158, Indonesia

Email: saidahrambe20.sr@gmail.com

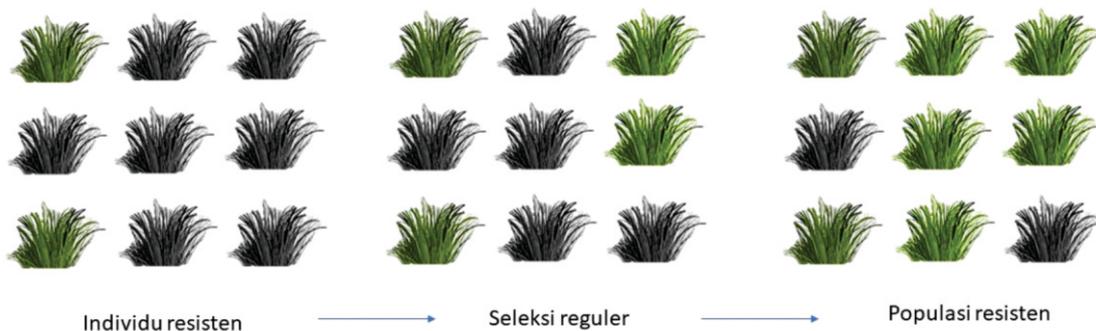
2023). Secara alami gulma memiliki potensi resisten, namun ada beberapa faktor yang menjadi penyebab fenomena resistensi semakin meluas dan mengalami peningkatan. Faktor-faktor yang memengaruhi evolusi resistensi herbisida pada gulma ada empat, yaitu faktor genetik, faktor biologi dari spesies gulma, faktor karakteristik herbisida, dan faktor kultur teknis (Powles & Yu, 2010). Salah satu faktor yang diduga menyebabkan resistensi gulma di perkebunan kelapa sawit adalah faktor kultur teknis yang tidak tepat, seperti aplikasi satu jenis bahan aktif dalam jangka waktu yang lama.

Secara umum, mekanisme resistensi herbisida dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu *target-site resistance* dan *non-target site resistance* (Beckie, 2020). *Target site resistance* adalah mekanisme resisten karena adanya perubahan struktur yang disebabkan oleh substitusi asam amino pada protein target herbisida (Délye et al., 2013). Perubahan ini yang menyebabkan herbisida tidak dapat berikatan pada protein target. Penyebab lain terjadinya mekanisme resistensi ini adalah produksi berlebihan dari protein pengikat herbisida (Singh et al., 2020). Salah satu kasus dari *target site resistance* adalah resistensi gulma *Amaranthus spinosus* terhadap herbisida berbahan aktif glifosat yang memiliki mekanisme penghambat sintase 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate (EPSP) (Gaines et al., 2020).

Selanjutnya, *non target-site resistance* adalah mekanisme resistensi yang membatasi bahan aktif herbisida untuk mencapai lokasi target. Mekanisme resistensi pada kategori ini berupa peningkatan

metabolisme tumbuhan terhadap herbisida, penurunan tingkat translokasi herbisida dan penurunan penetrasi bahan aktif herbisida ke dalam tanaman (Powles & Yu, 2010). Gulma *Lolium rigidum* tercatat memiliki resistensi silang pada beberapa cara kerja herbisida yaitu pada penghambatan sintesis enzim asetatolaktat dan penghambatan enzim asetil-CoA karboksilase (Torra et al., 2021).

Munculnya gulma yang resisten terhadap herbisida di lapangan dapat disebabkan oleh aplikasi herbisida yang tidak bijak seperti tidak adanya rotasi bahan aktif herbisida atau penggunaan bahan aktif yang sama secara terus menerus, dan ketidaksesuaian dosis aplikasi (umumnya dibawah dosis mematikan). Secara alami gulma memiliki sifat resistensi yang diturunkan secara genetik. Proses kemunculan gulma resisten dimulai dari pengendalian yang tidak tuntas. Selanjutnya, gulma yang tersisa dari pengendalian tersebut akan bereproduksi dan menghasilkan individu baru yang membawa sifat resisten terhadap bahan aktif tersebut (Gambar 1). Pada aplikasi berikutnya dengan bahan aktif yang sama, gulma yang rentan akan mati sedangkan individu yang membawa gen resisten akan bertahan dan bereproduksi menghasilkan lebih banyak individu baru. Pada akhirnya populasi gulma resisten akan terbentuk dan mendominasi lahan tersebut, sehingga bahan aktif yang sama tidak dapat digunakan untuk mengendalikan populasi gulma tersebut (HRAC, 2023; Deng et al., 2022). Proses tersebut telah ditunjukkan pada populasi *Eleusine indica* yang resisten terhadap herbisida berbahan aktif glifosat yang terjadi di Indonesia (Purba et al., 2012).



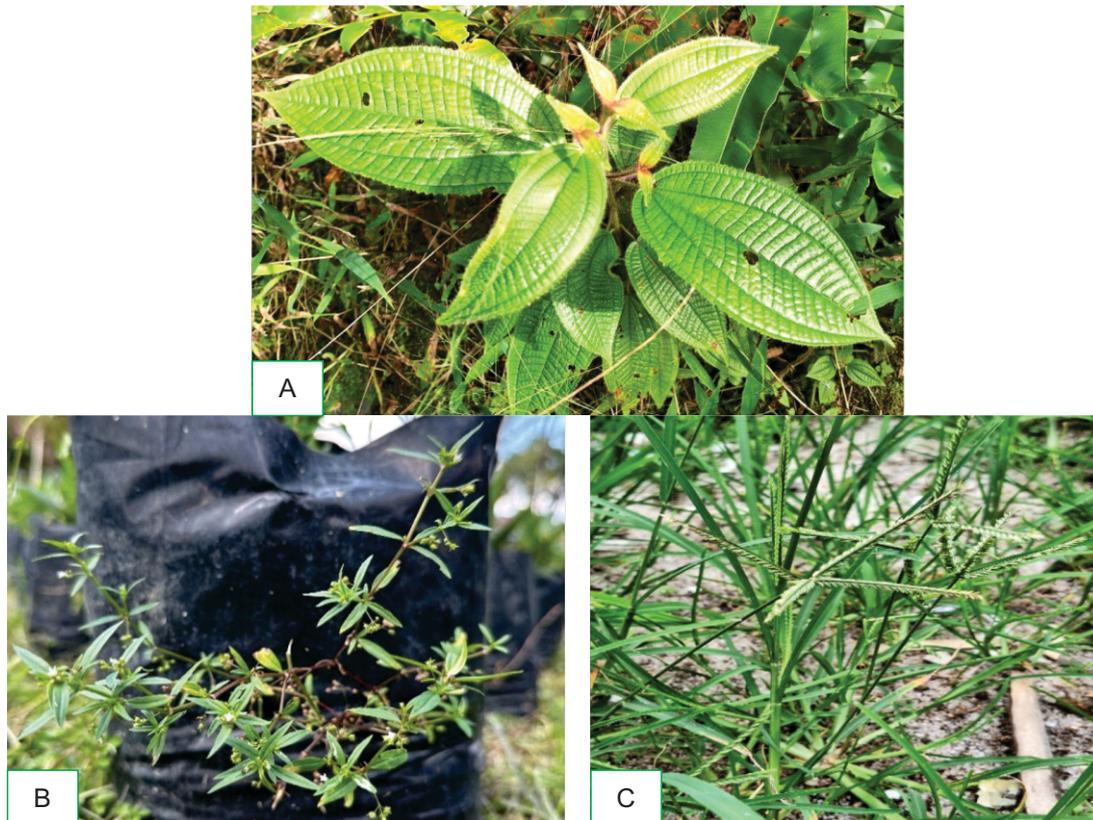
Gambar 1. Mekanisme resistensi gulma terhadap herbisida. Warna hijau menunjukkan individu resisten, sebaliknya hitam menunjukkan individu rentan

KASUS RESISTENSI GULMA DI PERKEBUNAN KELAPASAWIT

Gulma yang resisten terhadap herbisida pertama kali dilaporkan sekitar tahun 1970. Sejak saat itu, perkembangan kasus gulma yang resisten terhadap herbisida semakin meningkat. Hingga juli 2023, telah tercatat sebanyak 522 kasus resistensi gulma terhadap herbisida secara global, dengan rincian resistensi terhadap 21 cara kerja herbisida dari 165 herbisida yang berbeda (Heap, 2023).

Kasus resistensi gulma terhadap herbisida pada perkebunan kelapa sawit di Malaysia dilaporkan terjadi pada gulma *E. indica*, *Clidemia hirta*, *Hedyotis verticillata* (Jalaludin et al., 2015; Ramadhan et al., 2012; Tse-Seng et al., 2005) dan di Indonesia pada gulma *E. indica* (Purba et al., 2012) (Gambar 2). Gulma *H. verticillata* pertama kali diketahui resisten terhadap herbisida berbahan aktif glifosat dan parakuat pada tahun 2005. Kemunculan resistensi pada gulma ini

disebabkan oleh aplikasi herbisida dengan bahan aktif yang sama selama lebih dari tiga tahun berturut-turut, tanpa adanya aplikasi kombinasi herbisida. Resistensi pada gulma ini terjadi dengan dua cara kerja, yaitu pengalihan elektron pada fotosistem I dan penghambatan sintase 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate (EPSP) (Tse-Seng et al., 2005). Gulma *C. hirta* tercatat resisten terhadap metil metsulfuron pada tahun 2010. Resistensi ini erat kaitannya dengan aplikasi herbisida metil metsulfuron hingga lima tahun dan pengendalian gulma secara *blanket* saat persiapan lahan untuk kelapa sawit. Gulma ini resisten pada cara kerja penghambatan sintase aseto laktat (ALS) (Ramadhan et al., 2012). Sementara itu, rumput *E. indica* tercatat menjadi resisten pada tahun 2009 di Malaysia, dan menyusul di Indonesia pada tahun 2012. Di kedua negara, *E. indica* resisten terhadap beberapa bahan aktif dengan cara kerja yang berbeda atau dikenal dengan resistensi ganda (*multiple resistance*).

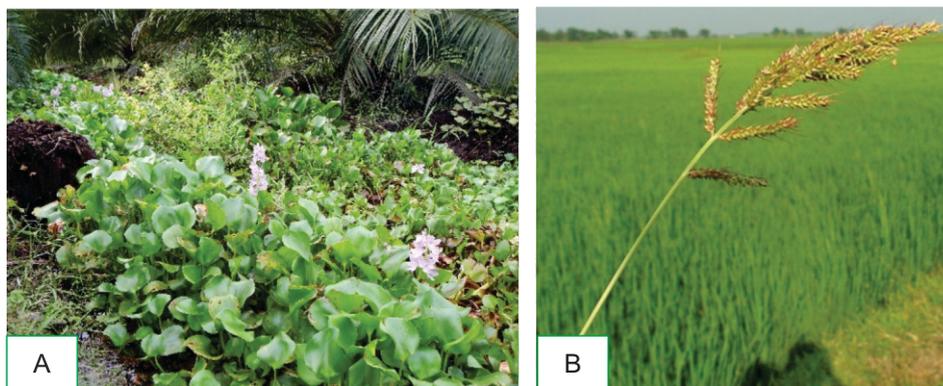


Gambar 2. Gulma *Clidemia hirta* (a), *Hedyotis verticillata* (b), *Eleusine indica* (c) yang telah resisten terhadap herbisida di perkebunan kelapa sawit

Hasil penelitian Jalaludin et al. (2015) menyatakan resistensi ganda terhadap bahan aktif amonium glufosinat, glifosat dan parakuat diklorida terjadi pada populasi *E. indica* di Malaysia. Ketiga bahan aktif ini memiliki cara kerja berbeda yaitu penghambatan karboksilase asetil-CoA, pengalihan elektron pada fotosistem I, penghambatan sintase EPSP dan penghambatan sintase glutamin. Sementara itu di Indonesia, *E. indica* resisten terhadap bahan aktif glifosat dan parakuat. Kasus ini pertama kali terjadi di areal pembibitan dan areal tanaman kelapa sawit menghasilkan (TM) di wilayah Sumatra Utara. Pada awalnya aplikasi bahan aktif glifosat dapat mematikan gulma dengan mortalitas yang tinggi, namun setelah 26 tahun aplikasi secara terus menerus dengan rotasi penyemprotan sebanyak enam kali per tahun, gulma

tersebut menjadi resisten. Melalui investigasi lebih lanjut, diketahui bahwa populasi gulma *E. indica* memiliki dua mekanisme resistensi, yaitu penghambatan sintase EPSP dan pengalihan elektron pada fotosistem I (Purba et al., 2012).

Selain pada areal perkebunan kelapa sawit, kasus resistensi gulma di Indonesia juga terjadi pada areal pertanaman padi. Gulma *Monochoria vaginalis* telah resisten terhadap herbisida berbahan aktif metil bensulfuron di daerah Lampung dan Jawa Barat (Kurniadie et al., 2021) (Gambar 3). Pada areal pertanaman padi di Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan dilaporkan bahwa gulma *Echinochloa crus-galli* resisten terhadap herbisida dengan bahan aktif metamifop (Aprilia et al., 2022).



Gambar 3. Jenis gulma yang telah resisten terhadap herbisida di pertanaman padi, *Monochoria vaginalis* (a), *Echinochloa crus-galli* (b) (International Rice Research Institute [IRRI], 2023)

MANAJEMEN RESISTENSI

Upaya untuk mencegah atau mengendalikan resistensi gulma diantaranya melalui rotasi dan kombinasi bahan aktif herbisida yang memiliki cara kerja (*Mode of Action* [MoA]) yang berbeda. *Herbicide Resistance Action Committee* [HRAC] (2022) mengklasifikasikan cara kerja menjadi tiga kategori, yaitu aktivasi *Reactive Oxygen Species* (ROS), alterasi pembelahan dan pertumbuhan sel, serta alih fungsi metabolisme sel. Setiap kategori memiliki kelompok atau grup yang masing-masing terdiri atas satu hingga beberapa bahan aktif. Pengelompokan grup berdasarkan sistem HRAC menggunakan angka dan disertai dengan cara kerja herbisida. HRAC mengeluarkan pedoman umum yang berisi menghindari penggunaan bahan aktif herbisida yang

berkelanjutan dengan cara kerja serupa pada gulma di lahan yang sama kecuali memiliki pengendalian yang terintegrasi, membatasi jumlah aplikasi bahan aktif herbisida tunggal atau dengan cara kerja yang sama di satu musim tanam, menggunakan herbisida campuran dengan cara kerja berbeda tetapi target gulma yang sama, dan aplikasi herbisida non-selektif. Informasi mengenai grup herbisida yang beredar di pasaran dapat dilihat pada label kemasan produk (Gambar 4).

Rotasi bahan aktif herbisida dapat dilakukan dengan mengaplikasikan herbisida dari grup bahan aktif yang berbeda dengan cara kerja yang juga berbeda (Beckie et al., 2017). Rotasi herbisida dapat dilakukan setelah 3-4 kali aplikasi dengan grup yang sama. Misalnya, setelah aplikasi bahan aktif glifosat (grup 9) sebanyak 4 kali berturut-turut, dilanjutkan

dengan aplikasi bahan aktif fluazifop-p-butil (grup 1). Selanjutnya, rotasi bahan aktif dapat dilakukan setelah 4 kali pengaplikasian bahan aktif tersebut, misalnya dengan bahan aktif amonium glufosinat (grup 10), dilanjutkan dengan aplikasi bahan aktif tiafenacil (grup

14) (Gambar 5). Strategi rotasi ini dapat dilakukan secara berselang-seling dengan interval tertentu dan disesuaikan dengan gulma sasaran. Tabel 1 mendeskripsikan 14 grup bahan aktif yang beredar dan dapat digunakan di Indonesia.



Gambar 4. Ilustrasi label pada salah satu produk komersial herbisida yang menunjukkan grup bahan aktif (a), dosis anjuran (b) dan petunjuk penggunaan (c)

Tabel 1. Grup bahan aktif herbisida yang beredar di Indonesia (ap-simpel.pertanian.go.id)

Kelompok herbisida	Bahan aktif	Cara kerja	Gulma sasaran
Grup 1:			
● Aryloxyphenoxy-propionates	Cyhalofop butyl ^b ,	Menghambat sintesis	Gulma berdaun lebar
	fenoxaprop ethyl ^b ,	enzim asetil Co-A	gulma rumput, gulma teki
	fluazifop butyl ^b , haloxyfop methyl ^b , metamifop ^b ,	karboksilase (ACC)	
	quizalofop ethyl ^a		
● Cyclohexanediones	Clethodim ^b		Gulma berdaun lebar, golongan rumput
Grup 2:			
● Imidazolinone	Imazapyr ^{a,b}	Menghambat sintesis asetilolaktat	Gulma berdaun lebar, gulma rumput

(continued)

Kelompok herbisida	Bahan aktif	Cara kerja	Gulma sasaran
● Sulfonylurea	Pyrazosulfuron ethyl ^{a,b} , ethoxysulfuron ^b , iodosulfuronmethyl-Na ^{a,b} , bensulfuron methyl ^{a,b} , metsulfuron methyl ^b , trifloxysulfuron -Na ^b , nicosulfuron ^{a,b} , propyrisulfuron ^b ,		Gulma berdaun lebar, gulma rumput, gulma teki
● Triazolinone	Thiencarbazone-methyl ^{a,b}		Gulma berdaun lebar. Gulma rumput
● Pyrimidinyl benzoate	Bispyribac-Na ^{a,b} , pyriftalid ^b , pyribenzoxim ^b		Gulma berdaun lebar, gulma rumput, gulma teki
● Triazolopyrimidine- type 2	Penoxsulam ^b		
● Sulfoanilide	Triafamon ^{a,b}		
Grup 3:			
● Dinitroaniline	Pendimethalin ^a	Penghambatan pembentukan mikrotubulus	Gulma berdaun lebar, gulma rumput, gulma teki
Grup 4:			
● Benzoat	Dicamba ^b	Meniru auksin	Gulma berdaun lebar,
● Phenoxy- carboxylates	2,4- D ^b , MCPA ^b		gulma rumput, gulma teki

(continued)

Kelompok herbisida	Bahan aktif	Cara kerja	Gulma sasaran
● Pyridyloxy-carboxylates	Fluroxypyr ^b , triclopyr ^b		Gulma berdaun lebar
● Pyridine-carboxylates	Florpyrauxifen ^b , picloram ^a ,		
● Quinoline-carboxylates	Quinclorac ^{a,b}		Gulma berdaun lebar, gulma rumput, gulma teki
Grup 5:			
● Triazine	Ametryne ^{a,b} , atrazine ^{a,b}	Menghambat fotosintesis	Gulma berdaun lebar,
● Triazinone	Metribuzin ^a	pada fotosistem II (D1	gulma rumput
● Urea	Diuron ^{a,b}	serin 264 binders)	
● Amida	Propanil ^{a,b}		
● Urasil	Bromacil ^a		
Grup 6			
● Benzothiadiazoles	Bentazon ^b	Menghambat fotosintesis	Gulma berdaun lebar,
		pada fotosistem II (D1	gulma rumput, gulma teki
		histidin 215 binders)	
Grup 9:			
● Glisin	Glyphosate ^b	Menghambat sintase 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate (EPSP)	Gulma berdaun lebar, gulma rumput, gulma teki
Grup 10:			
● Phosphinic acids	Glufosinate ammonium ^b	Menghambat sintase glutamin	Gulma berdaun lebar, gulma rumput

(continued)

Kelompok herbisida	Bahan aktif	Cara kerja	Gulma sasaran
Grup 13:			
● Isoxazolidinones	Clomazone ^a	Menghambat sintase deoksi-d- silulasa fosfat	Gulma berdaun lebar, gulma rumput, gulma teki
Grup 14:			
● Diphenyl ethers	Acifluorfen ^b , fomesafen ^b , oxyfluorfen ^{a,b}	Penghambatan oksidase rotoporfirinogen	Gulma berdaun lebar, gulma rumput
● N-Phenyl- triazolinones	Carfentrazone ethyl ^{a,b} , sulfentrazone ^a ,		Gulma berdaun lebar, gulma rumput, gulma teki
● N-Phenyl- oxadiazolones	Oxadiazon ^{a,b}		Gulma berdaun lebar, gulma rumput
● N-Phenyl-imides	Flumioxazin ^a , saflufenacil ^{a,b} , tiafenacil ^{a,b} , trifludimoxazin ^{a,b}		Gulma berdaun lebar, gulma rumput, gulma teki
Grup 15:			
● Thiocarbamate	Thiobencarb ^{a,b}	Penghambatan sintesis asam lemak rantai panjang	Gulma berdaun lebar, gulma rumput, gulma teki
● α - Chloroacetamides	Butachlor ^{a,b} , dimethenamid ^a , pretilachlor ^{a,b} , metolachlor ^{a,b}		Gulma berdaun lebar, gulma rumput
● α -Thioacetamides	Anilofos ^{a,b}		Gulma rumput, gulma teki

(continued)

Kelompok herbisida	Bahan aktif	Cara kerja	Gulma sasaran
● Isoxazoline	Pyroxasulfone ^a		Gulma berdaun lebar, gulma rumput, gulma teki
Grup 22:			
● Pyridinium	Paraquat ^b , diquat ^b	Pengalihan elektron pada PS I	Gulma berdaun lebar, gulma rumput
Grup 27:			
● Triketone	Mesotrione ^{a,b} , tefuryltrione ^{a,b} , tembotrione ^b	Penghambatan hidroksifenil piruvat dioksigenase	Gulma berdaun lebar, gulma rumput
● Pyrazole	Topramezone ^{a,b}		
● Isoxazole	Isoxaflutole ^{a,b}		Gulma berdaun lebar
Grup 29:			
● Alkylazine	Indaziflam ^{a,b}	Menghambat sintesis selulosa	Gulma berdaun lebar
Grup 30:			
● Benzyl ether	Cinmethylin ^{a,b}	Menghambat tiosterase asam lemak	Gulma rumput, gulma teki

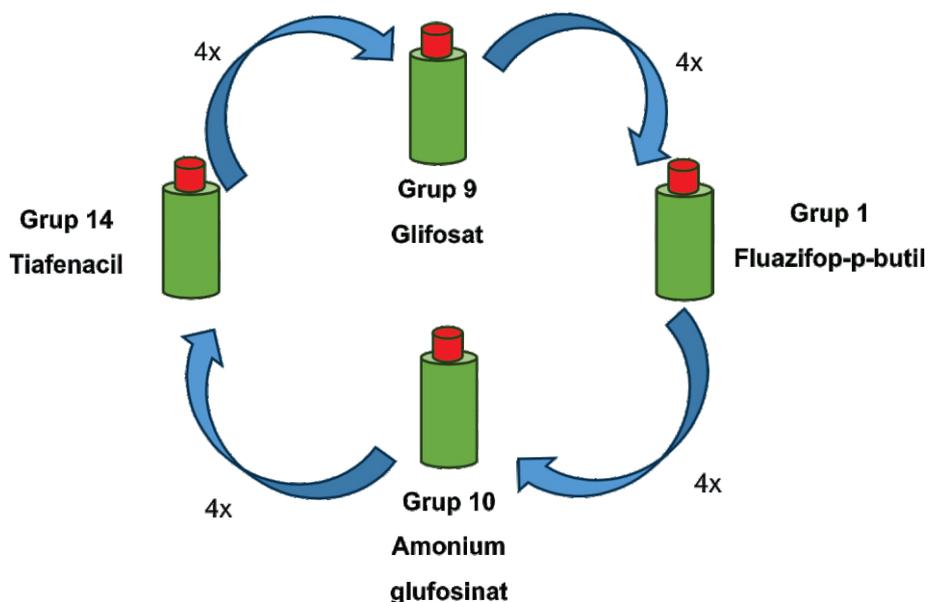
Keterangan: a) herbisida pra tumbuh, b) herbisida pasca tumbuh

Upaya berikutnya untuk meminimalkan resiko resistensi atau mengatasi gulma yang resisten adalah dengan mengombinasikan beberapa jenis bahan aktif herbisida dalam aplikasi yang sama. Kombinasi dapat dilakukan dengan mencampurkan herbisida yang memiliki cara kerja berbeda dan memiliki efikasi yang tinggi pada gulma target dengan dosis bahan aktif yang lebih rendah dari label rekomendasi. Terdapat dua kombinasi campuran, yaitu *premix* dan *tank mix*. *Premix* adalah kombinasi

antara dua atau beberapa bahan aktif dengan dosis salah satu bahan aktif lebih rendah dalam satu produk komersial siap pakai (Das, 2014), sebagai contoh di Indonesia terdapat beberapa merek dagang yang menjual herbisida dengan campuran dua cara kerja herbisida yang berbeda seperti campuran antara isopropil amina glifosat dan 2,4-D isopropil. Sedangkan, *tank mix* adalah pencampuran dua atau lebih bahan aktif herbisida yang dilakukan sebelum aplikasi di lapangan (Gandini et al., 2020),

contohnya pencampuran glifosat dan metil metsulfuron atau glifosat dan tiafenacil. Selain dengan melakukan rotasi dan kombinasi bahan aktif herbisida manajemen resistensi juga dapat dilakukan dengan mengintegrasikan beberapa metode

pengendalian gulma, seperti penyiangan gulma, pembajakan tanah, dan pemanfaatan agen hayati pengendali gulma. Hal ini bertujuan mencegah ketergantungan pada satu metode saja sehingga diharapkan dapat mengurangi laju resistensi gulma.



Gambar 5. Skema rotasi bahan aktif herbisida dengan contoh gulma sasaran kelompok daun sempit (rumput)

KESIMPULAN

Penggunaan satu jenis bahan aktif dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan kejadian resistensi gulma terhadap herbisida. Gulma *Eleusine indica* adalah salah satu gulma yang sudah resisten di Indonesia. Strategi pengendalian gulma resisten terhadap herbisida dapat dilakukan dengan melakukan rotasi dan kombinasi antara dua atau beberapa grup bahan aktif herbisida yang memiliki cara kerja yang berbeda. Pemahaman mengenai aturan rotasi berdasarkan grup bahan aktif merupakan kunci sukses dalam manajemen resistensi gulma.

DAFTAR PUSTAKA

Aprilia, A. N., Kurniadie, D., & Umiyati, U. (2022). Resistensi gulma *Echinochloa crus-galli* terhadap herbisida berbahan aktif Metamifop di areal persawahan Sulawesi Selatan. *Kultivasi*, 21(3).

<https://doi.org/10.24198/kultivasi.v21i3.38960>.

Beckie, H. J. (2020). Herbicide resistance in plants. *Plants*, 9(435), 1-4. <https://doi.org/10.3390/plants9040435>.

Beckie, H. J., & Harker, K. N. (2017). *Our top 10 herbicide-resistant weed management practices*. *Pest Management Science*. doi:10.1002/ps.4543.

Corley, R.H.V., & Tinker, P.B. (2016). *The oil palm fifth edition*. United Kingdom: Wiley Blackwell Publishing.

Das, S. K. (2014). Scope and Relevance of using Pesticide Mixtures in Crop Protection: A Critical Review. *Int. J. Environ. Sci. Toxic*, 2(5) 119-123.

Délye, C., Jasieniuk, M., & le Corre, V. (2013). Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. In *Trends in Genetics*, 29(11), 649-658 <https://doi.org/10.1016/j.tig.2013.06.001>.

- Deng, W., Duan, Z., Li, Y., Peng, C., & Yuan, S. (2022). Multiple resistance mechanisms involved in glyphosate resistance in *Eleusine indica*. *Plants*, 11(23), 3199. [10.3390/plants11233199](https://doi.org/10.3390/plants11233199).
- Gaines, T. A., Duke, S. O., Morran, S., Rigon, C. A. G., Tranel, P. J., Kopper, A., & Dayan, F. E. (2020). Mechanisms of evolved herbicide resistance. *JBC Reviews*, 295(30), 10307-10330.
- Gandini, E. M. M., Costa, E. S. P., dos Santos J. B., Soares, M. A., Barroso, G. M., Corrêa, J. M., Carvalho A. G., & Zanuncio, J. C. (2020). Compatibility of pesticides and/ or fertilizers in tank mixtures. *Journal of Cleaner Production*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122152>.
- Hakim, D. B., Hadianto, A., Giyanto, Hutaria, T., & Amaliah, S. (2020). The production efficiency of herbicides in palm oil plantation in Sumatera and Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 468(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012054>.
- Heap, I. M. (2023, July 10). The International Herbicide-Resistant Weed Database. *Weed Science*. Diakses dari www.weedscience.org.
- Herbicide Resistance Action Committee [HRAC]. (2022). *Mode of Action Classification 2022 Map*. <https://hracglobal.com/tools/hrac-mode-of-action-classification-2022-map>.
- Herbicide Resistance Action Committee [HRAC]. (2023). *Guideline to the Management of Herbicide Resistance*. <https://hracglobal.com/prevention-management/best-management-practices>.
- International Rice Research Institute [IRRI]. (2023). *Echinochloa crus-galli*. <http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/item/echinochloa-crus-galli>.
- Jalaludin, A., Yu, Q., & Powles, S. B. (2015). Multiple resistance across glufosinate, glyphosate, paraquat and ACCase-inhibiting herbicides in an *Eleusine indica* population. *Weed Research*, 55(1), 82–89. <https://doi.org/10.1111/wre.12118>.
- Kurniadie, D., Widiyanto, R., Widayat, D., Umiyati, U., & Nasahi, C. (2021). Confirmation of resistance *Monochoria vaginalis* (Burm. f.) C. Presl from West Java and Lampung Indonesia to bensulfuron-methyl herbicide. *Journal of Plant Protection Research*, 61(2), 139–144. <https://doi.org/10.24425/jppr.2021.137021>.
- Kustyanti, T., & Horne, P. (1991). The Effect of *Asystasia* on the growth of young rubber in polybags. CR-CRSP Project. Deli Serdang. USAID, Washington, DC.
- Powles, S. B., & Yu, Q. (2010). Evolution in action: Plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 317–347. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112119>.
- Prasetyo, H., & Zaman, S. (2016). Pengendalian Gulma Perkebunan Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Perkebunan Padang Halaban, Sumatera Utara. In *Bul. Agrohorti*, 4(1), 87-93.
- Purba, E., Lubis, L.A., & Sipayung, R. (2012). Respons dosis biotip *Eleusine indica* resisten-glifosat terhadap glifosat, parakuat, dan glufosinat. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 1(1), 109-123.
- Ramadhan, A.M.N., Ismail, B. S., & Tse-Seng, C. (2012). A preliminary report on the potential resistance of a soapbush (*Clidemia hirta* (L.) D. Don) biotype to metsulfuron-methyl in an oil palm plantation in Jerantut, Malaysia. *Plant Protection Quarterly*, 27, 64-69.
- Rambe, T.D.L., Pane, P., & Sudharto, C. (2010). *Pengelolaan Gulma Pada Perkebunan Kelapa Sawit di PT. Smart Tbk*. Jakarta.
- Sahid, I., Hamzah, A., & Aria, P. M. (1992). Effect of paraquat and alachlor on soil microorganism in peat soil. *Pertanika*, 15, 121-125.
- Singh, U.P., Kamboj, A., & Sharma, M. (2020). Herbicide Resistance in Weed and Its Management- A Review. *IJARESM Publication*, 8(12), 213-223.
- Torra, J., Montull, J. M., Taberner, A., Onkokesung, N., Boonham, N., & Edwards, R. (2021). Target-Site and Non-target-Site Resistance Mechanisms Confer Multiple and Cross-Resistance to ALS and ACCase Inhibiting Herbicides in *Lolium rigidum* From Spain. *Front. Plant Sci.* 12, 1-13

Tse-Seng, C., Noor-Zalila, Cha, T. S., & Ismail. (2005). Paraquat and glyphosate resistance in woody boreria (*Hedyotis verticillata*) growing at oil palm plantations in Terengganu, Malaysia. In *Malays. Appl. Biol*, 34(2).

Umiyati, U., Kurniadie, D., Widiyanto, R., Widayat, D., & Nasahi, C. (2023). Resistance of *Eleusine indica* non-selective herbicides in Indonesian oil palm plantation. *Biodiversitas*, 24(8), 4661-4667.