

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Herbisida

Herbisida merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pengendalian gulma modern yang digunakan secara luas dalam praktik pertanian intensif. Secara umum, herbisida didefinisikan sebagai senyawa kimia yang mampu menghambat, menekan, atau bahkan membunuh gulma, baik secara selektif maupun menyeluruh, tergantung pada jenis dan sifat bahan aktif yang digunakan. Gulma sendiri adalah tumbuhan pengganggu yang tumbuh di lahan budidaya dan berkompetisi langsung dengan tanaman utama dalam menyerap air, nutrisi, cahaya matahari, dan ruang tumbuh. Keberadaan gulma yang tidak dikendalikan dapat menyebabkan penurunan hasil panen secara signifikan karena berkurangnya efisiensi pertumbuhan tanaman utama (Istiqomah, 2022).

Istilah “herbisida” berasal dari dua kata latin, yaitu *herba* yang berarti tumbuhan liar atau gulma, dan *sida* yang berarti membunuh. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi utama herbisida adalah untuk menekan atau menghilangkan pertumbuhan vegetasi yang tidak diinginkan di area budidaya. Herbisida dapat bekerja melalui berbagai mekanisme tergantung jenisnya. Ada herbisida sistemik yang diserap oleh jaringan tanaman dan ditranslokasikan ke seluruh bagian tumbuhan, sehingga efektif untuk membunuh gulma hingga ke akar. Ada pula herbisida kontak yang bekerja dengan merusak jaringan tanaman pada area yang terkena langsung semprotan, sehingga cocok digunakan untuk gulma berdaun lebar dan cepat tumbuh (Aditya, 2021).

Cara kerja herbisida juga bergantung pada jalur masuknya ke dalam tubuh gulma. Herbisida dapat diserap melalui akar saat dilarutkan dalam tanah, atau melalui daun ketika diaplikasikan secara langsung. Penyerapan ini bisa terjadi melalui celah stomata atau melalui permukaan kutikula daun, tergantung pada bentuk formulasi dan teknik aplikasi. Setelah masuk, senyawa aktif akan

mengganggu proses fisiologis penting pada gulma, seperti fotosintesis, pembelahan sel, sintesis protein, atau metabolisme hormon, yang pada akhirnya menyebabkan kematian atau pertumbuhan yang sangat terhambat.

Dalam praktik lapangan, penggunaan herbisida memberikan keuntungan berupa efisiensi tenaga kerja dan waktu, terutama dalam skala pertanian yang luas. Namun, penggunaan herbisida tidak lepas dari potensi dampak negatif terhadap lingkungan dan organisme non-target, termasuk tanaman utama jika tidak digunakan sesuai anjuran. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman menyeluruh mengenai dosis, waktu aplikasi, serta karakteristik gulma yang hendak dikendalikan agar penggunaan herbisida tetap efektif dan ramah lingkungan.

B. Herbisida Nabati

Herbisida nabati merupakan inovasi dalam bidang pengendalian gulma yang memanfaatkan sumber daya alam berupa senyawa kimia alami dari tumbuhan. Jenis herbisida ini dirancang untuk menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan herbisida sintetis berbahan kimia buatan. Sebagai agen pengendali gulma, herbisida nabati memiliki keunggulan dalam hal biodegradabilitas, yaitu kemampuan untuk terurai secara alami di lingkungan, sehingga risiko pencemaran tanah, air, maupun kerusakan terhadap organisme non-target dapat diminimalkan (Nugroho & Salim, 2023).

Salah satu mekanisme kerja herbisida nabati berasal dari fenomena *allelopati*, yakni kemampuan suatu tanaman untuk menghasilkan dan melepaskan senyawa biokimia tertentu ke lingkungan sekitarnya, yang berfungsi untuk menghambat perkecambahan, pertumbuhan, atau perkembangan tanaman lain di dekatnya. Senyawa alelopati ini sering kali berupa metabolit sekunder seperti flavonoid, tanin, alkaloid, dan fenolik. Dalam konteks pertanian, kemampuan ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam formulasi herbisida alami yang memiliki efektivitas setara dengan herbisida sintetis, namun dengan dampak ekologis yang jauh lebih kecil (Tampubolon *et al.*, 2018).

Bioherbisida, atau herbisida berbahan dasar alami, pada dasarnya adalah senyawa organik yang dirancang untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan gulma, dengan bahan aktif yang berasal dari ekstrak tumbuhan. Karena berasal dari alam, penggunaannya dinilai lebih aman bagi tanah, mikroorganisme, serta kesehatan manusia. Selain itu, bioherbisida juga cenderung tidak menyebabkan resistensi gulma dalam jangka panjang, yang sering kali menjadi masalah pada penggunaan herbisida sintetis secara terus-menerus. Oleh karena itu, pemanfaatan ekstrak tumbuhan seperti *Ageratum conyzoides*, ketapang (*Terminalia catappa* L), dan berbagai jenis tanaman lain yang memiliki sifat toksik terhadap gulma menjadi pilihan potensial dalam sistem pertanian berkelanjutan (Elfrida *et al.*, 2018).

Dengan meningkatnya perhatian terhadap keberlanjutan lingkungan dan kesehatan pertanian jangka panjang, herbisida nabati semakin mendapat tempat dalam pengembangan teknologi pertanian modern. Meski efektivitasnya bisa dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis gulma, kondisi lingkungan, dan konsentrasi bahan aktif, pengembangan bioherbisida tetap menjadi langkah strategis dalam mewujudkan sistem pengendalian gulma yang berwawasan ekologi.

C. Ekstrak

Ekstrak merupakan hasil olahan dari bahan alam, baik yang berasal dari tumbuhan maupun hewan, yang mengandung zat aktif atau senyawa bioaktif tertentu. Proses pembuatannya dilakukan dengan cara mengekstraksi atau melarutkan komponen-komponen aktif dari bahan tersebut menggunakan pelarut yang sesuai, seperti air, etanol, metanol, atau pelarut organik lainnya. Tujuannya adalah untuk mendapatkan sediaan pekat yang mengandung konsentrasi senyawa bioaktif lebih tinggi dibandingkan bahan mentahnya. Dalam konteks penelitian fitokimia dan farmakologi, ekstrak sering digunakan sebagai bahan uji karena mengandung zat aktif yang dianggap memiliki efek biologis terhadap organisme target, seperti antimikroba, antioksidan, atau toksisitas terhadap hama dan gulma (Foudubun, 2019).

Ekstrak merupakan hasil sediaan pekat yang diperoleh melalui proses penarikan atau pemisahan zat aktif dari bahan alam, seperti simplisia nabati (daun, batang, akar, atau bagian lain dari tumbuhan) maupun simplisia hewani. Proses ekstraksi ini menggunakan pelarut tertentu, baik pelarut polar seperti air, etanol, atau metanol, maupun pelarut non-polar tergantung pada sifat senyawa aktif yang ingin diperoleh. Melalui proses perendaman, maserasi, soxhletasi, atau teknik lainnya, senyawa-senyawa penting dalam bahan alam—seperti alkaloid, flavonoid, tanin, saponin, dan minyak atsiri—dilarutkan, dipisahkan dari bagian kasar bahan, lalu dipekatkan menjadi ekstrak.

Ekstrak berfungsi sebagai bentuk konsentrat dari bahan alami, yang memiliki aktivitas biologis lebih tinggi dibandingkan bahan mentahnya karena kandungan senyawa bioaktifnya lebih terfokus. Dalam konteks pengendalian hayati atau pemanfaatan senyawa alami, ekstrak sering digunakan dalam penelitian sebagai bahan uji terhadap mikroorganisme, hama, gulma, atau sel biologis lainnya untuk mengevaluasi potensi toksik, bioaktif, atau terapeutiknya. Misalnya, ekstrak dari daun tumbuhan tertentu dapat mengandung senyawa alelopatik yang berfungsi sebagai penghambat pertumbuhan organisme, seperti gulma, sehingga berpotensi dijadikan bioherbisida.

D. Mekanisme Kerja Herbisida Nabati

Herbisida nabati bekerja melalui mekanisme yang melibatkan senyawa metabolit sekunder yang terkandung secara alami dalam tumbuhan, seperti fenol, tanin, flavonoid, dan alkaloid. Senyawa-senyawa ini memiliki peran penting dalam menghambat proses fisiologis dan perkembangan gulma, terutama pada tahap awal pertumbuhan. Salah satu mekanisme utama yang diidentifikasi adalah gangguan terhadap proses pembelahan sel (mitosis) pada embrio biji gulma. Metabolit tersebut berinteraksi langsung dengan struktur seluler, khususnya merusak aparatus gelendong (spindle apparatus) yang berfungsi dalam pembelahan kromosom saat fase metafase mitosis. Kerusakan pada struktur ini menyebabkan sel gagal menyelesaikan pembelahan secara normal, sehingga pertumbuhan embrio terhambat secara signifikan.

Selain itu, senyawa alelopatik dari herbisida nabati juga dapat mengganggu aktivitas hormon pertumbuhan tanaman seperti giberelin dan sitokinin. Kedua hormon ini sangat penting dalam merangsang perkecambahan dan pembelahan sel. Ketika fungsinya terhambat, proses fisiologis yang mendukung pertumbuhan awal tanaman, seperti pemanjangan akar dan tunas, menjadi terganggu. Akibatnya, benih gulma mengalami keterlambatan dalam proses perkecambahan, atau bahkan gagal berkecambah sama sekali. Dalam kondisi ini, dominansi gulma di lahan pertanian dapat ditekan tanpa perlu menggunakan bahan kimia sintetis yang berisiko mencemari lingkungan.

Dengan demikian, penggunaan herbisida nabati yang kaya akan metabolit sekunder dapat menjadi pendekatan pengendalian gulma yang efektif dan ramah lingkungan. Efek penghambatan yang ditimbulkan tidak hanya terjadi pada fase awal pertumbuhan gulma, tetapi juga memberikan tekanan fisiologis yang dapat mengurangi viabilitas gulma secara keseluruhan di lahan budidaya (Ramadhani & Ulpah, 2022).

E. Keunggulan dan Tantangan Herbisida Nabati

Memiliki keunggulan dalam ketersediaan dan kemudahan pengolahan. Daunnya mudah dijumpai dan berlimpah di wilayah tropis, sehingga menjadi sumber bahan aktif yang murah dan berkelanjutan. Proses ekstraksinya pun relatif sederhana, dapat dilakukan dengan pelarut seperti air atau alkohol, tanpa memerlukan peralatan laboratorium yang kompleks (Berlina, 2018). Beberapa hasil penelitian bahkan menunjukkan bahwa dalam konsentrasi tinggi, efektivitas ekstrak daun ketapang dalam menekan pertumbuhan gulma dapat menyamai herbisida sintetis seperti Gramoxone pada jenis-jenis gulma tertentu.

Namun, efektivitas herbisida nabati ini tidak bersifat instan. Tidak seperti herbisida sintetis yang memberikan hasil dalam waktu singkat, herbisida nabati membutuhkan waktu beberapa hari hingga minggu untuk menunjukkan dampaknya secara nyata terhadap gulma, tergantung pada jenis gulma, konsentrasi ekstrak, dan kondisi lingkungan (Nurhalina *et al.*, 2021). Selain itu, keberhasilan penggunaan ekstrak sangat dipengaruhi oleh banyak faktor teknis, seperti kondisi fisiologis daun yang digunakan (segar atau kering), jenis pelarut, teknik ekstraksi, dan konsentrasi

akhir ekstrak. Keseluruhan proses harus dilakukan dengan cermat agar kandungan senyawa aktif tetap terjaga dan mampu bekerja optimal sebagai penghambat pertumbuhan gulma.

F. Ketapang



Gambar 2. 1 Ketapang

(sumber: *Greeners.co*)

1. Klasifikasi Ketapang

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Myrtales
Famili	: Combretaceae
Genus	: <i>Terminalia</i>
Spesies	: <i>Terminalia catappa</i> L.

2. Morfologi Tanaman Ketapang

Ketapang (*Terminalia catappa* L.) merupakan salah satu spesies pohon tropis yang dikenal karena karakteristik morfologis dan ekologisnya yang unik serta kemampuannya beradaptasi dalam berbagai kondisi lingkungan. Tanaman ini tergolong pohon berkayu keras berukuran sedang hingga besar, dengan tinggi yang dapat mencapai 25 hingga 40 m dan diameter batang setinggi dada (DBH) berkisar antara 50 hingga 150 cm. Kanopinya berbentuk menyebar dan bertingkat, menyerupai struktur bertajuk terbuka yang luas, menjadikannya sangat mencolok di habitat alaminya.

Daun ketapang tersusun spiral dan rapat, umumnya terakumulasi di ujung-ujung ranting. Bentuk daun menyerupai telur terbalik (obovate) dengan ukuran yang bervariasi, panjang antara 8–38 cm dan lebar 5–19 cm. Ujung daun tumpul dengan pangkal yang agak berlekuk (subkordat). Daun muda biasanya diselimuti oleh bulu halus berwarna cokelat, sedangkan daun tua memiliki permukaan yang mengilap, tebal, dan tampak seperti kulit. Menjelang masa gugur, warna daun berubah dari hijau menjadi kuning terang lalu merah tua, menciptakan pemandangan khas yang mudah dikenali.

Bunga ketapang berukuran kecil (4–6 mm), berwarna putih atau krem, dan tersusun dalam rangkaian aksiler (infloresens) sepanjang 8–25 cm. Meskipun beraroma agak menyengat, bunga ini memiliki nilai penting dalam siklus reproduktif pohon. Mayoritas bunga bersifat jantan, sementara sebagian kecil bunga biseksual tumbuh di bagian dasar rangkaian. Tanaman mulai berbunga dan menghasilkan buah dalam usia relatif muda, yakni 2 hingga 3 tahun, tergantung genotipe dan lingkungan tumbuh. Bahkan, dalam kondisi tanah subur, pohon dapat berbuah sejak 18 bulan setelah tanam. Uniknya, setelah kehilangan daun karena angin kencang, pohon ini mampu berbunga kembali hanya dalam waktu enam minggu.

Buah ketapang tergolong tipe *drupe*, berbentuk lonjong dan pipih dengan permukaan yang licin. Ukuran buah bervariasi antara 3,5–7 cm panjang dan 2–5,5 cm lebar, dengan kemungkinan membesar hingga 10 cm. Buah muda berwarna hijau, dan akan berubah menjadi kuning, merah terang, atau ungu saat matang. Di dalam buah terdapat satu biji berwarna krem pucat yang terdiri dari dua kotiledon. Biji ini bervariasi dalam ukuran dan berat, misalnya di wilayah Vanuatu ditemukan memiliki panjang 2,6–3,8 cm dan berat 7–14 gram. Kernel atau inti biji memiliki kandungan lemak yang signifikan, dengan ukuran mencapai 4,4 cm dan kandungan berkisar antara 1–10%.

Secara ekologis, ketapang memiliki penyebaran luas di wilayah tropis dan subtropis, terutama di kawasan Samudra Hindia dan Pasifik. Tanaman ini tumbuh optimal di daerah beriklim maritim tropis dengan curah hujan tahunan antara 1.000 hingga 3.500 mm. Ia lebih banyak ditemukan di dataran rendah dengan ketinggian kurang dari 400 meter di atas permukaan laut. Ketapang sangat adaptif di

lingkungan pesisir, termasuk hutan pantai, tepi batuan, dan lahan rawa mangrove. Tanaman ini menunjukkan laju pertumbuhan cepat pada masa awal pertumbuhan, dengan penambahan tinggi mencapai sekitar 2 meter per tahun, menjadikannya cocok untuk rehabilitasi lahan dan pelindung kawasan pesisir (Thomson & Evans, 2006).

3. Kandungan Toksisitas Daun Ketapang

Tabel 2. 1 Kandungan Toksisitas Daun Ketapang

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian (%)
1	Flavonoid	0,890
2	Tanin	4,452

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan oleh Mudasir (2023) di UPT Laboratorium Institut Pertanian Stiper, diketahui bahwa ekstrak daun ketapang mengandung senyawa alelopati berupa flavonoid sebesar 0,890% dan tanin sebesar 4,452%. Tanin diketahui mampu menghambat pertumbuhan organisme, mengganggu proses respirasi mitokondria, serta menekan pergerakan ion kalsium (Ca^{2+}) dan fosfat (PO_4^{3-}). Marisa (2012) juga menyebutkan bahwa tanin dapat menghambat kerja hormon giberelin melalui mekanisme penonaktifan enzim-enzim penting seperti amilase, proteinase, lipase, dan urease. Sementara itu, flavonoid merupakan salah satu jenis metabolit sekunder yang banyak terdapat pada tanaman dan dikenal sebagai komponen aktif dalam bioherbisida. Flavonoid, yang tergolong senyawa fenolik dengan struktur dasar 15 atom karbon, berperan sebagai pigmen tumbuhan berwarna merah, ungu, biru, dan kuning, serta memiliki kemampuan sebagai agen pereduksi yang efektif dalam menghambat proses oksidasi, baik yang bersifat enzimatik maupun non-enzimatik (Mukhrani, 2014).

4. Mekanisme Kerja Senyawa Aktif pada Daun Ketapang sebagai Bioherbisida

Senyawa-senyawa bioaktif yang terkandung dalam ekstrak daun ketapang memiliki mekanisme alelopatik yang kompleks dan menyasar berbagai proses fisiologis penting dalam gulma. Salah satu kandungan utama, yaitu flavonoid,

diketahui berperan dalam menghambat kerja enzim IAA-oksidadase. Enzim ini biasanya berfungsi menguraikan hormon pertumbuhan tanaman berupa asam indolasetat (IAA). Ketika enzim ini terhambat, konsentrasi IAA dalam jaringan tanaman akan menurun secara drastis. Penurunan IAA tersebut berdampak langsung pada terganggunya aktivitas enzim α -amilase—enzim penting dalam proses mobilisasi cadangan makanan, terutama untuk mengubah pati menjadi gula selama fase awal perkecambahan. Akibatnya, biji gulma tidak mampu berkecambah secara optimal karena kekurangan energi dan nutrisi yang dibutuhkan untuk memulai pertumbuhan (Riskitavani & Purwani, 2013).

Selain flavonoid, senyawa tanin dalam daun ketapang juga memiliki efek alelopatik yang signifikan terhadap gulma. Tanin bekerja dengan cara menonaktifkan berbagai enzim vital seperti α -amilase, proteinase, lipase, dan urease yang sangat dibutuhkan dalam proses metabolisme sel. Aktivitas tanin juga menghambat respirasi sel dan mengganggu transportasi ion-ion penting seperti kalsium (Ca^{2+}) dan fosfat (PO_4^{3-}) di dalam jaringan tumbuhan. Tidak hanya itu, senyawa ini mampu menghambat proses fotosintesis dan metabolisme energi yang menjadi fondasi utama pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, keberadaan tanin dalam ekstrak daun ketapang turut berkontribusi besar dalam menghambat laju pertumbuhan gulma secara menyeluruh, mulai dari fase perkecambahan hingga perkembangan vegetatif awal (Ramadhani, 2020).

Senyawa flavonoid bekerja dengan menghambat hormon IAA (asam indolasetat), yang menyebabkan penurunan aktivitas enzim α -amilase. Hal ini mengganggu proses perkecambahan dan pertumbuhan tanaman. Sementara itu, senyawa tanin berperan dengan menonaktifkan enzim-enzim penting seperti amilase, proteinase, dan lainnya, serta mengganggu proses respirasi dan transport ion dalam sel. diinginkan.

5. Jenis Herbisida pada Herbisida Nabati Ekstrak Daun Ketapang

Ekstrak daun ketapang (*Terminalia catappa* L.) bekerja sebagai herbisida kontak alami, yaitu jenis herbisida yang hanya efektif pada bagian gulma yang secara langsung terkena aplikasi. Efek pengendalian yang ditimbulkan bersifat lokal, artinya hanya terjadi pada jaringan tanaman yang bersentuhan langsung

dengan semprotan ekstrak. Uji aplikasi yang dilakukan oleh Ramadhani dan Jatsiyah (2023) terhadap gulma menjalar menunjukkan bahwa gejala penghambatan yang muncul berupa kelayuan jaringan dan kematian daun pada area yang disemprot, sedangkan bagian tanaman yang tidak terkena aplikasi tetap tumbuh normal. Hal ini mengindikasikan bahwa ekstrak daun ketapang tidak memiliki kemampuan translokasi atau penyerapan sistemik melalui akar seperti pada herbisida sistemik.

Secara fisiologis, mekanisme kerja ekstrak ini melibatkan kerusakan langsung pada struktur sel tumbuhan gulma, misalnya melalui gangguan membran plasma, penghambatan kerja enzim, hingga pemicu stres oksidatif. Efek ini bekerja cepat tetapi terbatas pada sel-sel yang kontak langsung dengan senyawa aktif dalam ekstrak. Oleh karena itu, cakupan kerjanya cenderung terbatas dan membutuhkan aplikasi yang merata agar efektif, terutama pada gulma yang memiliki pertumbuhan cepat atau daun yang luas (Jatsiyah *et al.*, 2023).

Sebagaimana dijelaskan oleh Riadi *et al.* (2011), herbisida kontak memang tidak memiliki kemampuan untuk berpindah ke seluruh jaringan tanaman. Jenis ini hanya bekerja secara topikal, yaitu menghancurkan jaringan tumbuhan pada titik kontak, sehingga aplikasi harus mengenai seluruh permukaan daun atau bagian vital tanaman untuk memperoleh hasil maksimal. Herbisida kontak umumnya lebih efektif untuk mengendalikan gulma tahunan atau semusim, karena jaringan mudanya lebih rentan terhadap kerusakan dibandingkan gulma perennial yang memiliki jaringan pelindung lebih tebal dan sistem akar yang kuat.

Dengan demikian, bioherbisida dari daun ketapang cocok diterapkan dalam strategi pengendalian gulma secara tepat sasaran, misalnya pada gulma daun lebar di tahap pertumbuhan awal. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada teknik aplikasi yang menyeluruh serta intensitas dan frekuensi penyemprotan agar seluruh bagian tanaman gulma terpapar senyawa aktif secara merata.

G. Gulma

Gulma merupakan tumbuhan yang kehadirannya tidak diinginkan karena tumbuh di area yang tidak sesuai dengan tujuan budidaya. Secara umum, gulma bukan hanya sekedar tanaman liar, melainkan entitas biologis yang mampu menyaingi tanaman utama dalam berbagai aspek kehidupan seperti perebutan unsur hara, cahaya matahari, air, dan ruang tumbuh. Persaingan ini dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan tanaman budidaya, bahkan mengurangi hasil panen secara signifikan. Seperti dijelaskan oleh Widaryanto dan Zaini (2021), beberapa jenis gulma juga menjadi vektor atau inang bagi hama dan patogen, yang berarti keberadaannya tidak hanya mengganggu secara fisik tetapi juga membawa implikasi ekologis dan ekonomi yang cukup serius. Di sisi lain, beberapa gulma memiliki senyawa alelopatik yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman melalui pelepasan zat kimia ke lingkungan sekitar, membuatnya semakin berbahaya dalam sistem pertanian intensif.

Di era pertanian berkelanjutan saat ini, pemahaman terhadap perilaku gulma menjadi sangat penting agar dapat disusun strategi pengendalian yang tidak hanya efektif tetapi juga ramah lingkungan. Penggunaan herbisida sintetik yang berlebihan untuk membasmi gulma memang memberikan hasil cepat, namun sering kali berdampak negatif terhadap ekosistem tanah, air, dan organisme bukan target. Oleh karena itu, solusi seperti herbisida nabati, mulsa organik, rotasi tanaman, hingga pengendalian secara manual perlu dikombinasikan dalam satu sistem terpadu. Menurut Winarsih (2020), gulma adalah tanaman yang tidak dibudidayakan namun tumbuh bersama tanaman utama. Meski sering kali keberadaannya dianggap tidak berguna, dalam beberapa kasus gulma dapat menjadi indikator kesuburan tanah, kelembapan, atau bahkan perubahan iklim mikro. Namun demikian, dalam konteks budidaya tanaman pangan dan hortikultura, fungsi gulma sebagai indikator harus tetap diimbangi dengan pengelolaan yang baik agar tidak berkembang secara dominan dan merugikan tanaman utama. Artinya, penting bagi petani dan praktisi pertanian untuk tidak hanya fokus pada pemberantasan gulma, tetapi juga memahami ekologi dan dinamika pertumbuhannya sebagai bagian dari agroekosistem.

H. Dampak Gulma Terhadap Tanaman Kailan (*Brassica oleracea* L)

Gulma merupakan salah satu faktor pembatas utama dalam budidaya pertanian yang sering kali diabaikan. Interferensi gulma, yakni persaingan langsung dan tidak langsung antara gulma dengan tanaman utama, dapat menyebabkan penurunan kuantitas maupun kualitas hasil panen. Handayani dan Sulistyaningsih (2021) menegaskan bahwa interferensi tersebut tidak hanya terjadi melalui kompetisi perebutan sumber daya, tetapi juga melalui efek alelopati, yakni pelepasan senyawa kimia oleh gulma yang dapat menghambat atau bahkan meracuni pertumbuhan tanaman budidaya.

Kompetisi yang terjadi sangat kompleks, karena gulma bersaing dengan tanaman utama dalam memperoleh air, unsur hara, cahaya matahari, dan ruang tumbuh. Menurut Sastroutomo (1990), interferensi ini dapat menyebabkan kerugian hasil yang signifikan, tergantung pada jenis gulma, populasi, serta fase pertumbuhan tanaman. Semakin lama gulma dibiarkan tumbuh bersama tanaman budidaya, maka semakin besar kerugiannya.

Kerugian akibat keberadaan gulma tidak hanya terbatas pada persaingan sumber daya, tetapi juga mencakup aspek lain yang lebih luas. Sukman dan Yakup (1995) menyebutkan bahwa beberapa gulma memiliki kemampuan alelopatik, yaitu melepaskan senyawa biokimia yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman sekitarnya. Senyawa ini bisa merusak proses fisiologis seperti perkecambahan, pertumbuhan akar, bahkan fotosintesis tanaman utama. Lebih lanjut, Rukmana dan Saputra (1999) menambahkan bahwa gulma juga dapat menjadi inang alternatif bagi berbagai jenis hama dan patogen tanaman, yang berpotensi memperparah tekanan terhadap pertanian.

Selain dampak terhadap tanaman, gulma juga berpotensi mengganggu kesehatan manusia. Beberapa jenis gulma menghasilkan serbuk sari yang bersifat alergenik dan dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan. Dari sisi ekonomi, keberadaan gulma meningkatkan beban tenaga kerja dan biaya produksi karena memerlukan upaya tambahan untuk penyiangan atau penggunaan herbisida.

Dengan mempertimbangkan berbagai dampak tersebut, maka pengelolaan gulma tidak boleh dipandang sebelah mata dalam sistem pertanian. Pengendalian yang efektif dan tepat waktu menjadi kunci untuk meminimalkan kerugian yang disebabkan oleh gulma, serta memastikan keberlanjutan hasil pertanian yang optimal. Pendekatan pengendalian yang ramah lingkungan, seperti penggunaan herbisida nabati, juga perlu dikembangkan sebagai bagian dari strategi pengelolaan gulma berkelanjutan yang lebih aman dan adaptif terhadap sistem agroekosistem modern.

I. Karakteristik Gulma Di Kailan (*Brassica oleracea* L) Paronpong Kabupaten Bandung Barat

1. *Cyperus rotundus* (Rumput Teki)



Gambar 2. 2 *Cyperus Rotundus* (Rumput Teki)

(sumber: *Socfindo Conservation*)

a. Klasifikasi

Kingdom : Plantae
Divisi : Tracheophyta
Kelas : Liliopsida
Ordo : Poales
Familia : Cyperaceae
Genus : *Cyperus*
Spesies : *Cyperus rotundus* L.

b. Morfologi

Cyperus rotundus, yang dikenal luas sebagai salah satu gulma paling agresif, memiliki morfologi khas yang mendukung kemampuannya sebagai kompetitor kuat dalam ekosistem pertanian. Tanaman ini mempunyai daun sempit, panjang, dan berbentuk linier yang tumbuh secara spiral dalam tiga baris. Penampang batangnya berbentuk segitiga, khas keluarga Cyperaceae, serta permukaan daunnya cenderung halus dan mengilap. Struktur daunnya yang silindris dan tegak memungkinkannya memaksimalkan penyerapan cahaya, terutama di area dengan sinar matahari intens. Selain itu, *Cyperus rotundus* merupakan tanaman dengan jalur fotosintesis C4, yang membuatnya sangat efisien dalam memanfaatkan cahaya dan air, terutama pada kondisi suhu tinggi. Karakter ini menjadikannya sangat adaptif di lahan terbuka tropis dan tahan terhadap tekanan lingkungan yang ekstrem, sehingga sulit dikendalikan secara konvensional (Wahua & Abass, 2024).

c. Dampak terhadap Pertanian

Dari sisi agronomi, keberadaan *Cyperus rotundus* membawa dampak negatif yang signifikan terhadap produksi tanaman budidaya. Tanaman ini dikenal sangat kompetitif dalam menyerap air, unsur hara, dan cahaya dari lingkungan, yang seharusnya tersedia bagi tanaman utama. Kompetisi ini berlangsung sejak awal pertumbuhan, terutama pada musim kering ketika ketersediaan sumber daya terbatas. Rojas-Sandoval dan Acevedo-Rodríguez (2023) melaporkan bahwa kehadiran *Cyperus rotundus* dapat menyebabkan penurunan hasil tanaman budidaya hingga 80%, khususnya dalam kondisi kering yang memperkuat dominasi gulma ini. Selain itu, pertumbuhannya yang cepat dan kemampuan regenerasi melalui umbi bawah tanah menjadikan gulma ini sangat sulit diberantas secara tuntas. Oleh karena itu, strategi pengendalian gulma seperti ini memerlukan pendekatan yang berkelanjutan dan integratif, termasuk pemanfaatan herbisida nabati, rotasi tanaman, dan pengelolaan lahan yang tepat.

2. *Ageratum conyzoides* L. (Babadotan)



Gambar 2.3 *Ageratum conyzoides*

(Sumber: PlantNet.com)

a. Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Asterales
Famili	: Asteraceae
Genus	: <i>Ageratum</i>
Spesies	: <i>Ageratum conyzoides</i> L

b. Morfologi

Ageratum conyzoides L., atau yang lebih dikenal dengan nama babadotan, merupakan gulma tahunan yang tergolong dalam famili Asteraceae. Gulma ini memiliki karakteristik morfologi yang cukup khas, sehingga mudah dikenali di lapangan. Pertumbuhannya cenderung tegak dengan batang berbentuk silindris, lunak, dan dipenuhi bulu-bulu halus. Batangnya sering bercabang banyak, menciptakan struktur tanaman yang rimbun. Daunnya tersusun berhadapan, berwarna hijau muda, dan berbentuk oval hingga lonjong dengan tepi bergerigi. Permukaan daun ditutupi bulu halus, memberikan tekstur agak kasar bila disentuh. Bunganya tersusun dalam bentuk bonggol majemuk (capitulum), berwarna ungu kebiruan atau kadang-kadang putih, dengan mahkota kecil berbentuk tabung yang mencolok. Sistem reproduksi tanaman ini cukup efisien, menghasilkan buah kecil dan kering jenis achenia yang dilengkapi dengan struktur pappus rambut halus yang

membantu penyebaran biji melalui angin. Sistem perakarannya berupa akar tunggang yang relatif dangkal namun menyebar ke segala arah, menjadikannya mampu bersaing dengan tanaman utama untuk memperoleh unsur hara dan air dari lapisan permukaan tanah (Rahmadani, 2025).

c. Dampak terhadap Pertanian

Ageratum conyzoides dikenal sebagai salah satu gulma yang memiliki kemampuan alelopatik yang cukup tinggi. Senyawa-senyawa alelopatik yang dilepaskan oleh bagian tubuh gulma ini, terutama dari daun dan akarnya, dapat menghambat proses perkecambahan dan pertumbuhan awal tanaman budidaya di sekitarnya. Pengaruh negatif tersebut tidak hanya mengganggu tahapan awal pertumbuhan tanaman, tetapi juga dapat berlanjut hingga fase vegetatif, mengakibatkan perlambatan perkembangan, penurunan biomassa, dan akhirnya berdampak pada rendahnya produktivitas tanaman utama. Siti Hafsa et al. (2013) menunjukkan bahwa ekstrak bagian vegetatif *A. conyzoides* dapat menurunkan efisiensi penyerapan nutrisi dan menghambat sintesis hormon pertumbuhan pada tanaman sawi. Efek semacam ini tentu dapat merugikan petani secara ekonomi dan agronomis, terutama jika gulma tidak dikendalikan sejak dini. Dengan demikian, kehadiran gulma bandotan di lahan pertanian perlu mendapat perhatian serius sebagai target dalam strategi pengendalian gulma yang efektif dan berkelanjutan.

3. *Oxalis corniculata* L. (Daun Asam Kecil)



Gambar 2. 4 *Oxalis corniculata*

(Sumber: *Socfindo conservation*)

a. Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Oxalidales
Familia	: Oxalidaceae
Genus	: <i>Oxalis</i>
Spesies	: <i>Oxalis corniculata</i> L.

b. Morfologi

Oxalis corniculata merupakan jenis gulma dari famili Oxalidaceae yang tergolong ke dalam herba tahunan menjalar (perennial). Tanaman ini memiliki kebiasaan tumbuh mendatar di permukaan tanah dengan batang semu yang relatif tipis dan lentur. Batangnya menyebar secara horizontal serta mampu membentuk akar adventif pada setiap nodus yang menyentuh tanah, sehingga sangat adaptif dan cepat berkembang biak. Ciri khas dari *O. corniculata* adalah daunnya yang tersusun trifoliat, yaitu terdiri dari tiga anak daun yang berbentuk hati (cordate). Tangkai daun atau petiolnya berukuran sekitar 3 hingga 9 cm, sementara anak daunnya masing-masing berukuran kecil, sekitar 1–2 cm. Permukaan daun tampak halus namun dilapisi oleh rambut halus (trikoma), begitu juga dengan permukaan batangnya. Struktur seperti ini memungkinkan tanaman mempertahankan kelembapan dan melindungi diri dari cahaya berlebih atau gangguan lingkungan mikro lainnya. Bentuk dan tekstur daunnya yang khas menjadikannya mudah dikenali di lapangan (Raihandhany & Ramadian, 2021).

c. Dampak terhadap Pertanian

Keberadaan *O. corniculata* dalam ekosistem pertanian maupun lingkungan hijau seperti taman dan lapangan rumput dapat menimbulkan tantangan serius dalam pengelolaan vegetasi. Tanaman ini dikenal sangat invasif dan memiliki daya adaptasi tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan. Kemampuan batangnya untuk berakar pada nodus memungkinkan penyebaran yang cepat dan efisien, bahkan di lahan yang telah dibersihkan. Selain itu, ukurannya yang kecil dan

pertumbuhannya yang merayap membuatnya sulit dideteksi dan diberantas secara manual. Malik et al. (2012) menyatakan bahwa karena kemampuan bertahan dan penyebaran yang luar biasa, *O. corniculata* digolongkan sebagai gulma yang "sukses" secara ekologis. Penggunaan herbisida kimia sering kali menjadi pendekatan yang dianggap paling efektif dalam pengendaliannya, khususnya di area yang membutuhkan estetika tinggi seperti taman kota atau lapangan rumput. Di bidang pertanian, keberadaan gulma ini dapat mengganggu pertumbuhan tanaman utama, karena bersaing dalam pemanfaatan ruang tumbuh, cahaya matahari, serta unsur hara.

4. *Panicum repens*



Gambar 2. 5 *Panicum repens*

(Sumber: *iNaturalist.com*)

a. **Klasifikasi**

Kingdom : Plantae
Divisi : Tracheophyta
Kelas : Liliopsida
Ordo : Poales
Famili : Poaceae
Genus : *Setaria*
Spesies : *Setaria palmifolia* (J. Konig) Stapf

b. Morfologi

Panicum repens, yang dikenal luas sebagai torpedo grass, merupakan jenis rumput tahunan yang banyak ditemukan di lahan-lahan terbuka, terutama wilayah tropis dan subtropis. Tanaman ini memiliki karakteristik batang yang tegak dan kokoh, dengan tinggi bervariasi antara 20 hingga 100 cm tergantung kondisi lingkungan. Daunnya berbentuk linier, kaku, dan panjang, biasanya berukuran antara 7–25 cm dengan lebar sekitar 2–8 mm. Ujung daun cenderung meruncing tajam, sedangkan permukaan daunnya kerap tertutup lapisan lilin (kutikula), yang memberikan kilau tertentu dan berfungsi untuk mengurangi kehilangan air akibat penguapan. Sifat morfologis ini membuat *Panicum repens* sangat toleran terhadap kekeringan dan panas, serta menjadikannya kompetitor kuat bagi tanaman lain di lahan terbuka atau pertanian (Rojas-Sandoval, 2007).

c. Dampak terhadap Pertanian

Dalam konteks pertanian, keberadaan *Panicum repens* sering kali menjadi kendala serius karena sifat dominatifnya di lapangan. Tanaman ini mampu membentuk komunitas gulma yang padat dan luas, sehingga menghambat ruang gerak dan pertumbuhan tanaman budidaya. Studi oleh Swandi *et al.* (2024) menunjukkan bahwa *P. repens* dapat memiliki nilai Summed Dominance Ratio (SDR) mendekati 29,9% di suatu lahan, yang berarti hampir sepertiga area tertutup oleh gulma ini. Kepadatan populasi yang tinggi tersebut secara langsung berkontribusi pada berkurangnya akses tanaman utama terhadap sumber daya penting seperti sinar matahari, unsur hara tanah, dan ruang tumbuh. Akibatnya, produktivitas tanaman budidaya dapat menurun drastis, terlebih jika tidak ada tindakan pengendalian yang tepat. Karena itulah, pengelolaan gulma ini memerlukan strategi yang komprehensif, baik secara mekanis maupun menggunakan pendekatan kimia atau hayati, tergantung pada kondisi lahan dan sistem budidaya yang diterapkan.

5. *Setaria palmifolia* (Rumput Palem)



Gambar 2. 6 *Setaria palmifolia*

(Sumber: *Gardeners' World*)

a. Klasifikasi

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Poales
Familia	: Poaceae
Genus	: <i>Setaria</i>
Spesies	: <i>Setaria palmifolia</i> (Koenig) Stapf

b. Morfologi

Setaria merupakan jenis rumput yang tergolong dalam keluarga Poaceae dan memiliki variasi bentuk yang luas tergantung spesies dan kondisi lingkungannya. Tanaman ini dapat tumbuh sebagai gulma tahunan maupun menahun, dengan batang yang tumbuh tegak atau membengkok. Umumnya, batangnya bercabang di bagian pangkal, memungkinkan tanaman menyebar dengan cepat dan membentuk rumpun padat. Daunnya memiliki helai yang cukup lebar dan umumnya rata, tetapi pada kondisi tertentu dapat terlipat, terpilin, atau bahkan menggulung. Spesies yang termasuk dalam subgenus *Ptychophyllum* memiliki karakteristik daun yang berlipat dan biasanya bertangkai, memberikan ciri morfologis yang khas.

Struktur perbungaannya berbentuk malai terminal yang sempit dan rapat, menyerupai bulir, meskipun beberapa spesimen bisa menunjukkan bentuk malai yang lebih longgar dan terbuka. Spikelet atau bulir kecil pada *Setaria* berbentuk lanset hingga elips, dan terkadang cenderung menggembung, dengan ukuran dan

bentuk yang cukup beragam antar spesies. Karakter morfologis seperti ini memungkinkan *Setaria* beradaptasi di berbagai lingkungan pertanian dan menjadikannya salah satu gulma rumput yang sulit dikendalikan (Rominger, 1962).

c. Dampak terhadap Pertanian

Dalam praktik budidaya, keberadaan *Setaria* dapat menjadi faktor yang sangat merugikan, terutama pada tahap awal pertumbuhan tanaman utama. Gulma ini mampu tumbuh cepat dan agresif, sehingga sering kali langsung bersaing dengan tanaman budidaya untuk memperoleh cahaya matahari, air, dan unsur hara tanah. Kompetisi yang terjadi antara gulma *Setaria* dan tanaman utama, terutama dalam 3 hingga 5 minggu pertama setelah tanam, merupakan periode krusial. Jika pada fase ini *Setaria* tidak dikendalikan secara efektif, maka hasil panen dapat menurun secara signifikan, bahkan mencapai kerugian hingga 30%. Penurunan hasil ini merupakan dampak langsung dari terbatasnya sumber daya yang tersedia bagi tanaman budidaya, yang seharusnya dimanfaatkan secara optimal untuk membentuk fondasi pertumbuhan yang sehat (Wall & Friesen, 1990).

J. INDIKATOR KEMATIAN GULMA

Menurut Istiqomah dan Muhibuddin (2014), respons fisiologis dan morfologis gulma terhadap aplikasi herbisida dapat dikenali melalui beberapa gejala khas yang muncul pada jaringan tanaman. Salah satu tanda awal yang paling umum adalah klorosis, yakni perubahan warna daun dari hijau menjadi kuning. Gejala ini biasanya muncul beberapa hari setelah perlakuan, dimulai dari bagian daun yang paling muda hingga menyebar ke seluruh permukaan. Klorosis mencerminkan terganggunya proses fotosintesis akibat rusaknya klorofil, yang disebabkan oleh gangguan metabolisme sel atau hambatan dalam penyerapan unsur hara vital.

Gejala berikutnya adalah nekrosis, yang ditandai oleh munculnya bercak-bercak berwarna coklat tua hingga kehitaman pada permukaan daun, batang, atau titik tumbuh (meristem). Nekrosis menunjukkan bahwa sel-sel tanaman telah mengalami kematian akibat kerusakan struktur internal, seperti pecahnya membran plasma atau disfungsi enzimatik. Biasanya, bagian yang terkena herbisida secara langsung akan lebih dahulu menunjukkan gejala ini, terutama pada herbisida kontak yang bekerja pada titik aplikasi tanpa bergerak ke jaringan lainnya.

Selanjutnya, layu dan degradasi jaringan menjadi tahap akhir dari proses kerusakan akibat herbisida. Daun dan batang perlahan mulai mengering, kehilangan turgor, dan mengalami pengerutan. Hal ini merupakan efek lanjutan dari kematian sel-sel penyusun jaringan yang telah kehilangan integritas membran. Proses ini mencerminkan efek herbisida yang merusak dinding sel, menghentikan respirasi, atau memicu stres oksidatif yang mematikan.

Gejala-gejala ini sangat penting untuk diamati dalam pengujian efektivitas herbisida, baik sintetis maupun nabati. Kehadirannya menunjukkan bahwa senyawa yang diaplikasikan benar-benar bekerja pada sasaran, dan dapat menjadi indikator awal dalam menilai sejauh mana herbisida mampu menekan pertumbuhan gulma secara fisiologis dan struktural (Istiqomah & Muhibuddin, 2014).

K. DAMPAK DAN PENGARUH KEANEKARAGAMAN GULMA TERHADAP TANAMAN BUDIDAYA

Keanekaragaman spesies gulma yang tinggi di suatu area pertanaman dapat memberikan dampak negatif yang cukup signifikan terhadap tanaman budidaya. Semakin beragam jenis gulma yang tumbuh, maka semakin besar pula potensi kompetisi yang terjadi terhadap sumber daya penting seperti cahaya, air, ruang tumbuh, dan unsur hara tanah. Selain itu, beberapa gulma juga diketahui mampu menghasilkan senyawa alelopatik—zat kimia yang dilepaskan ke lingkungan dan dapat menghambat pertumbuhan maupun perkembangan tanaman utama secara fisiologis. Akibatnya, tanaman budidaya tidak hanya mengalami perlambatan pertumbuhan, tetapi juga menunjukkan penurunan kualitas morfologi seperti kerdil, daun kecil, atau warna daun yang pucat.

Dampak lanjutan dari kompetisi dan alelopati ini adalah penurunan produktivitas panen secara langsung. Bahkan dalam beberapa kasus, keberadaan gulma tertentu yang dominan dapat menyebabkan kegagalan panen apabila tidak dikendalikan sejak awal. Oleh karena itu, langkah identifikasi terhadap spesies gulma yang mendominasi suatu lahan menjadi sangat krusial. Dengan mengetahui jenis gulma yang paling berpotensi merugikan, maka strategi pengelolaan bisa diarahkan secara lebih efektif—baik secara manual, mekanis, maupun dengan pendekatan ramah lingkungan seperti penggunaan herbisida nabati.

Dalam praktik pertanian berkelanjutan, pengelolaan keanekaragaman gulma tidak hanya bertujuan untuk mengurangi populasi gulma secara keseluruhan, tetapi juga untuk menjaga agar ekosistem pertanian tetap seimbang. Sebab, dalam batas tertentu, keberadaan gulma yang tidak terlalu dominan juga dapat memberi manfaat ekologis, seperti mencegah erosi atau mendukung keanekaragaman hayati mikroba tanah. Namun demikian, ketika gulma tumbuh secara berlebihan dan tidak terkendali, maka intervensi aktif dari petani menjadi mutlak diperlukan agar tidak mengorbankan hasil panen dan kelangsungan budidaya tanaman utama (Utami *et al.*, 2020).

L. DAMPAK DAN PENGARUH KELIMPAHAN GULMA TERHADAP TANAMAN BUDIDAYA

Kelimpahan gulma merupakan salah satu faktor ekologi yang paling menentukan keberhasilan budidaya tanaman. Ketika populasi gulma dibiarkan tanpa pengendalian, mereka mampu berkembang biak dengan sangat cepat dan mendominasi area pertanaman. Dalam sistem pertanian terbuka, gulma memiliki kemampuan adaptasi dan regenerasi yang tinggi, sehingga komunitasnya bisa berubah secara dinamis, baik secara spasial maupun temporal. Salah satu perubahan yang umum terjadi adalah pergeseran dominansi gulma dari jenis rumput-rumputan (monokotil) menuju gulma berdaun lebar (dikotil) seiring berjalannya waktu, yang masing-masing membawa konsekuensi ekologis berbeda terhadap pertumbuhan tanaman utama.

Dalam kondisi tersebut, tanaman budidaya harus bersaing keras untuk mendapatkan sumber daya penting seperti cahaya matahari, air, dan unsur hara tanah. Ketika gulma hadir dalam jumlah besar dan tidak terkendali, mereka berperan sebagai kompetitor kuat yang menyerap sebagian besar nutrisi dan air dari dalam tanah, bahkan lebih cepat dibandingkan tanaman utama karena laju pertumbuhannya yang agresif. Akibatnya, tanaman budidaya mengalami gangguan pertumbuhan, penurunan produktivitas fisiologis, dan bahkan gangguan morfologis seperti pengecilan ukuran daun, keterlambatan berbunga, serta berkurangnya pembentukan organ hasil.

Temuan dari penelitian Handayani dan Sulistyanyingsih (2023) memperkuat hal ini, di mana tanaman budidaya yang tidak mendapatkan pengelolaan gulma sejak awal tanam menunjukkan penurunan hasil yang sangat signifikan. Dalam studi tersebut, dilaporkan bahwa kehilangan hasil dapat mencapai rata-rata sekitar 3 ton per hektar. Penurunan ini bukan hanya soal kuantitas panen, tetapi juga mencakup kualitas hasil seperti bobot basah dan bobot kering tanaman, serta ukuran organ panen seperti umbi atau buah. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kelimpahan dan dominansi satu atau beberapa spesies gulma tertentu dapat memberikan tekanan kompetitif yang nyata dan serius terhadap tanaman budidaya.

Dari perspektif praktik pertanian berkelanjutan, pengelolaan kelimpahan gulma bukan sekadar tindakan teknis, melainkan bagian dari strategi agronomis yang holistik. Oleh karena itu, petani perlu melakukan identifikasi gulma yang dominan di lahannya, memahami dinamika komunitas gulma dari waktu ke waktu, serta menerapkan teknik pengendalian yang sesuai, baik mekanis, kimiawi, maupun berbasis biologi seperti penggunaan herbisida nabati. Upaya ini penting dilakukan tidak hanya untuk menjaga produktivitas tanaman budidaya, tetapi juga untuk mencegah terjadinya invasi ekologis oleh spesies gulma agresif yang dapat merusak keseimbangan agroekosistem dalam jangka panjang.

M. FAKTOR LINGKUNGAN YANG MEMPENGARUHI KEANEKARAGAMAN GULMA

Perubahan iklim global bukan hanya berdampak pada tanaman budidaya, tetapi juga memberikan pengaruh signifikan terhadap komunitas gulma yang tumbuh di lahan pertanian. Penelitian yang dilakukan oleh Menalled *et al.* (2022) menunjukkan bahwa peningkatan suhu rata-rata dan penurunan kelembaban tanah, sebagai bagian dari tren iklim yang semakin ekstrem, memainkan peran penting dalam mengatur dinamika komunitas gulma. Meskipun bukan satu-satunya faktor yang menentukan, kondisi iklim berfungsi sebagai semacam filter ekologis yang menyeleksi spesies gulma mana yang mampu bertahan hidup dan mendominasi di bawah kondisi lingkungan yang berubah.

Dalam konteks ini, suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat siklus hidup beberapa spesies gulma, meningkatkan viabilitas benih, dan memperluas jangkauan

pertumbuhannya ke wilayah-wilayah yang sebelumnya tidak cocok. Di sisi lain, berkurangnya kelembaban tanah menyebabkan tekanan air yang lebih tinggi, yang secara tidak langsung menguntungkan gulma dengan sistem perakaran dalam atau yang memiliki adaptasi fisiologis terhadap kekeringan. Komposisi komunitas gulma pun mengalami pergeseran, baik dari sisi jumlah spesies (keanekaragaman) maupun proporsi dominansi antarspesies. Gulma yang sebelumnya kurang kompetitif dalam kondisi normal bisa menjadi spesies dominan dalam situasi stres lingkungan tertentu.

Penelitian Seipel *et al.* (2022) memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa dalam sistem pertanian gandum musim dingin (winter wheat), perbedaan sistem tanam (konvensional vs organik) yang dikombinasikan dengan variasi iklim menghasilkan respons yang berbeda pada komunitas gulma. Misalnya, di daerah dengan tekanan iklim lebih besar, seperti suhu tinggi dan kelembaban rendah, komunitas gulma menjadi lebih homogen, dengan sedikit spesies yang mendominasi secara biomassa dan frekuensi.

Implikasi dari temuan ini sangat penting bagi praktik pengendalian gulma di masa depan. Strategi manajemen gulma tidak bisa hanya mengandalkan pendekatan jangka pendek atau berbasis kalender tanam, melainkan harus mempertimbangkan variabilitas iklim secara lebih proaktif. Artinya, dalam kondisi iklim yang semakin tak terduga, identifikasi jenis gulma yang adaptif terhadap stres lingkungan menjadi krusial, agar tindakan pengendalian dapat dilakukan secara tepat sasaran. Secara keseluruhan, faktor-faktor klimatik memang tidak bertindak sebagai satu-satunya penyebab perubahan komunitas gulma, namun mereka menjadi pemicu penting dalam seleksi ekologis.

N. PENELITIAN TERDAHULU

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Tahun	Author	Hasil Penelitian
1	Pengaruh Bioherbisida Ekstrak Daun Ketapang (<i>Terminalia cattapa</i> L.) pada Gulma Teki (<i>Cyperus rotundus</i>)	2024	Aditya Sarwedy Gilang Pratama, Satria Indra Kusuma, Anni Nuraisyah, Ujang Setyoko	perlakuan konsentrasi 50% memberikan penghambatan pertumbuhan paling signifikan ditunjukkan oleh penurunan tinggi tanaman, panjang akar, jumlah daun, serta peningkatan fitotoksisitas terhadap <i>Cyperus rotundus</i> . Semakin tinggi konsentrasi, semakin besar efek penghambatan. herbisida nabati ramah lingkungan dalam pengendalian gulma di lahan pertanian.
2	Uji Efektivitas Ekstrak Daun Ketapang (<i>Terminalia catappa</i> L.) sebagai	2024	Muliani 1*, Muhammad Ali1, Dessy Vurwanni1, Ida Ayu Suci2,	Kandungan alelokimia yang terdapat pada daun ketapang yaitu senyawa flavonoid, alkaloid, tannin, steroid fan saponin.

	Herbisida Nabati terhadap Gulma Babadotan (<i>Ageratum conyzoides</i> L.)			Ekstrak daun ketapang berpengaruh terhadap daya kecambah, keserempakan tumbuh dan potensi berkecambah sedangkan pengaruh negatif yakni kecepatan kecambah dan indek vigor terhadap biji gulma babadotan
3	Pengendalian Gulma Pra Tumbuh Dengan Bioherbisida Daun Ketapang (<i>Terminalia cattapa</i>)	2023	Mudasir, Emilia Rona Yant, Darwati Susilastuti	Penelitian ini menggunakan RAK non-faktorial dengan lima konsentrasi ekstrak daun ketapang dan menunjukkan bahwa meskipun ekstrak mengandung flavonoid dan tanin, aplikasinya tidak berdampak signifikan terhadap pertumbuhan dan biomassa gulma. Faktor lingkungan seperti curah hujan

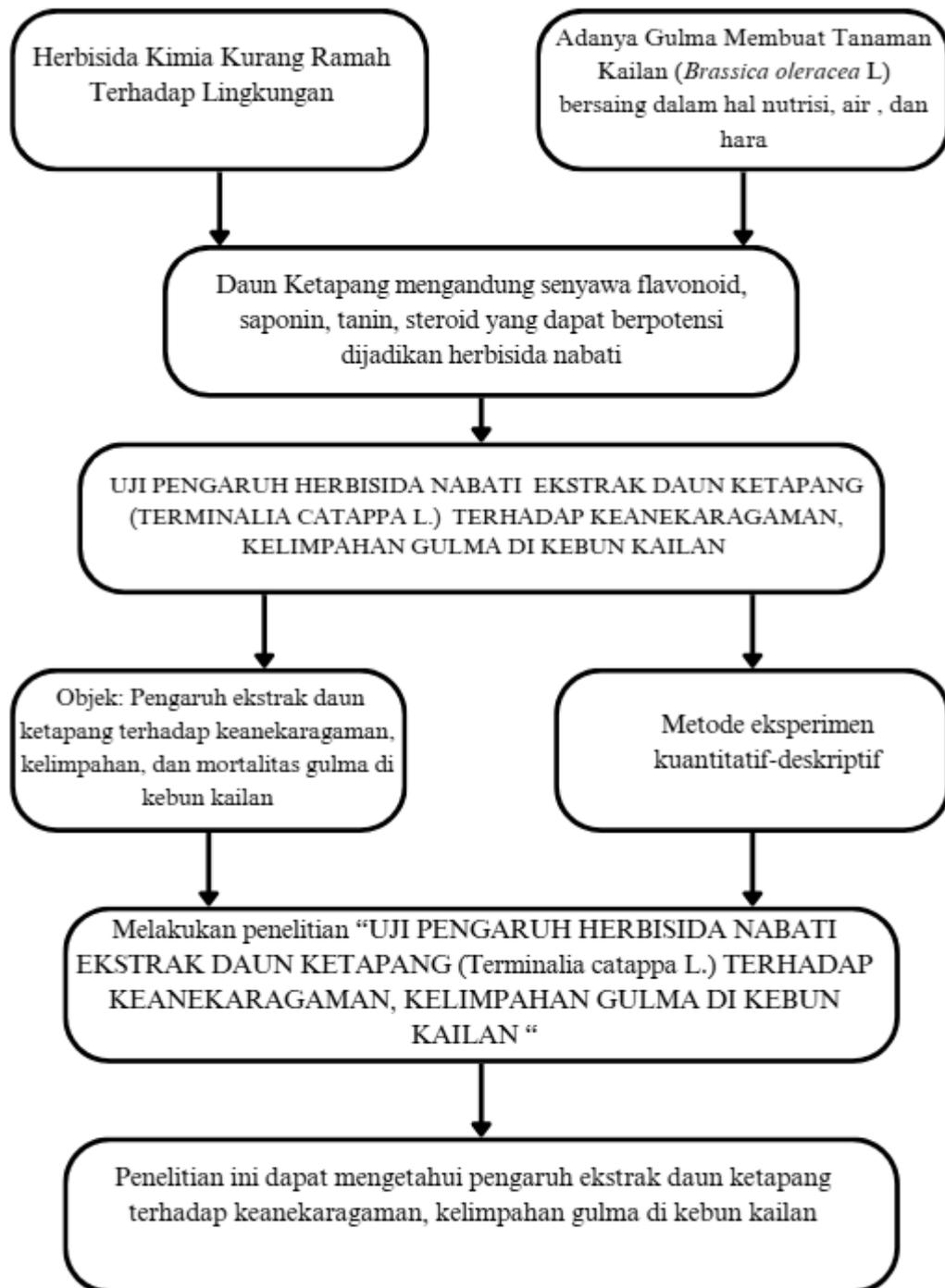
				tinggi dan jenis tanah liat diduga menghambat efektivitas herbisida. Meski hasil tidak signifikan, daun ketapang tetap dianggap berpotensi sebagai bioherbisida ramah lingkungan dan memerlukan penelitian lanjutan untuk optimasi aplikasi.
--	--	--	--	--

O. KERANGKA PEMIKIRAN

Penggunaan herbisida kimia dalam pertanian telah lama menjadi perhatian karena dampak negatifnya terhadap lingkungan, seperti pencemaran tanah dan air, serta gangguan terhadap ekosistem alami. Sementara itu, gulma tetap menjadi masalah serius bagi tanaman kailan (*Brassica oleracea* L.), karena bersaing dalam penyerapan nutrisi, air, dan unsur hara, sehingga mengurangi produktivitas tanaman. Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengendalian gulma yang lebih ramah lingkungan, salah satunya dengan memanfaatkan senyawa bioaktif dari tumbuhan.

Daun ketapang (*Terminalia catappa* L.) diketahui mengandung senyawa flavonoid, saponin, tanin, dan steroid yang berpotensi sebagai herbisida alami. Senyawa-senyawa ini dapat menghambat pertumbuhan gulma melalui berbagai mekanisme, seperti kerusakan membran sel, penghambatan enzim, dan gangguan metabolisme. Untuk menguji efektivitasnya, penelitian ini dirancang dengan judul "Pengaruh Herbisida Nabati Ekstrak Daun Ketapang (*Terminalia catappa* L.) terhadap Keanekaragaman, dan Kelimpahan Gulma di Kebun Kailan".

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif-deskriptif untuk menganalisis pengaruh ekstrak daun ketapang terhadap komunitas gulma. Hasilnya diharapkan dapat memberikan solusi berkelanjutan dalam pengendalian gulma sekaligus mengurangi ketergantungan pada herbisida kimia. Berikut adalah kerangka pemikiran yang menggambarkan alur penelitian ini:



Gambar 2. 7 Kerangka Pemikiran

P. ASUMSI DAN HIPOTESIS

2. Asumsi

Flavonoid dan tanin dalam ekstrak daun ketapang diasumsikan mampu menekan keanekaragaman, kelimpahan, dan kelangsungan hidup gulma melalui mekanisme alelopati yang mengganggu proses fisiologis tanaman target. Semakin tinggi konsentrasi, maka efek penghambatannya diasumsikan semakin kuat.

3. Hipotesis

Herbisida nabati ekstrak daun ketapang (*Terminalia catappa* L) dapat berpengaruh dalam penurunan keanekaragaman dan kelimpahan gulma di kebun kailan (*Brassica oleracea* L).

Q. ANALISIS PEMBELAJARAN

Penelitian mengenai uji efektivitas herbisida nabati dari ekstrak daun ketapang (*Terminalia catappa* L.) terhadap pengendalian gulma di kebun kailan (*Brassica oleracea* L.) sangat relevan untuk dikenalkan kepada peserta didik tingkat SMA. Informasi ini penting untuk menunjukkan manfaat penggunaan herbisida nabati sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan herbisida kimia yang sering digunakan dalam pertanian. Hasil penelitian ini dapat diintegrasikan dalam pembelajaran Biologi pada materi perubahan dan pencemaran lingkungan dalam kurikulum Merdeka, khususnya pada Fase E kelas 10. Dalam fase ini, peserta didik diajak untuk mengembangkan kemampuan dalam menciptakan solusi terhadap berbagai permasalahan lingkungan, termasuk pengelolaan gulma secara berkelanjutan berdasarkan isu lokal, nasional, maupun global.

Konsep penggunaan herbisida nabati dari ekstrak daun ketapang sebagai alternatif pengendalian gulma juga dapat dijadikan sebagai proyek dalam kurikulum Merdeka dengan tema “Membuat proyek pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.” Dengan demikian, siswa tidak hanya memperoleh pemahaman teoretis, tetapi juga terlibat dalam penerapan praktis yang dapat memberikan dampak positif bagi ekosistem dan pertanian berkelanjutan.

1. Keluasan dan Kedalaman Materi

Pada Fase E kelas X, peserta didik diharapkan memahami materi perubahan dan pencemaran lingkungan yang telah disajikan melalui peta konsep. Materi ini mencakup berbagai aspek perubahan lingkungan, termasuk dampak negatif penggunaan bahan kimia dalam pertanian serta alternatif solusi yang lebih ramah lingkungan. Melalui peta konsep, siswa dapat memahami hubungan antara gulma, pertumbuhan tanaman budidaya, serta dampak penggunaan herbisida kimia terhadap keseimbangan ekosistem. Pemahaman ini membantu siswa mengembangkan wawasan yang komprehensif mengenai interaksi dalam ekosistem serta bagaimana strategi pengelolaan gulma dapat mempengaruhi lingkungan dan produktivitas pertanian.

2. Karakteristik dan Kedalaman Materi

Materi ini memiliki karakteristik konkret karena berkaitan langsung dengan praktik pertanian yang sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari. Peserta didik dapat mengamati secara langsung bagaimana gulma mempengaruhi pertumbuhan tanaman serta dampak penggunaan herbisida kimia terhadap lingkungan.

Dengan demikian, pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan aplikatif, memungkinkan siswa untuk memahami fenomena ini melalui pengalaman nyata dan studi kasus yang relevan. Hal ini juga memberikan kesempatan bagi siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dalam mengevaluasi dampak positif dan negatif dari metode pengendalian gulma yang berbeda.

3. Perubahan Perilaku Hasil Belajar

Pemahaman yang diperoleh dari materi ini diharapkan dapat mendorong perubahan perilaku peserta didik agar lebih peduli terhadap lingkungan dan menerapkan praktik pertanian berkelanjutan. Dengan memahami dampak negatif penggunaan herbisida kimia, siswa akan lebih sadar akan pentingnya mencari alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti penggunaan herbisida nabati. Selain itu, siswa akan lebih termotivasi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan kimia dalam kehidupan sehari-hari serta mendukung praktik-praktik pertanian organik dan berkelanjutan. Lebih jauh, mereka juga dapat berperan sebagai agen perubahan dengan menyebarkan pengetahuan ini kepada masyarakat sekitar,

membantu petani memahami manfaat herbisida nabati, dan mengajak mereka untuk beralih ke metode pertanian yang lebih ramah lingkungan.

4. Bahan dan Media Pembelajaran

Bahan dan media ajar yang sesuai untuk materi ini meliputi berbagai sumber belajar interaktif seperti video, artikel ilmiah, dan modul tentang pencemaran lingkungan serta teknik pembuatan herbisida nabati. Proyek pembuatan herbisida nabati dari ekstrak daun ketapang dapat dilakukan dengan bahan-bahan alami yang mudah ditemukan di sekitar lingkungan siswa.

Media pembelajaran seperti demonstrasi langsung, panduan eksperimen, dan proyek kolaboratif akan membantu siswa memahami konsep ini dengan lebih mendalam. Dengan pendekatan ini, siswa dapat belajar secara langsung melalui eksperimen dan praktik, sehingga materi lebih mudah dipahami dan lebih relevan dengan kehidupan mereka.

5. Strategi Pembelajaran

Strategi pembelajaran untuk materi perubahan dan pencemaran lingkungan dengan proyek pembuatan herbisida nabati dapat menggunakan pendekatan berbasis proyek (*Project-Based Learning*). Pertama, guru dapat memperkenalkan konsep pencemaran lingkungan dan dampak herbisida kimia melalui diskusi kelas dan multimedia interaktif. Selanjutnya, siswa dibagi dalam kelompok kecil untuk mengidentifikasi tanaman lokal yang memiliki potensi sebagai herbisida nabati, seperti daun ketapang.

Setiap kelompok merancang dan melaksanakan eksperimen untuk mengekstrak senyawa dari daun ketapang serta menguji efektivitasnya dalam menghambat pertumbuhan gulma di lingkungan sekolah atau lahan percobaan. Dalam proses ini, guru berperan sebagai fasilitator yang memberikan bimbingan dan arahan. Siswa juga didorong untuk mendokumentasikan langkah-langkah dan hasil yang diperoleh dalam bentuk laporan atau presentasi. Sebagai tahap refleksi, siswa dapat mendiskusikan pengalaman mereka, tantangan yang dihadapi, serta dampak ekologis dari penggunaan herbisida nabati.

Penilaian dilakukan secara holistik, mencakup partisipasi aktif, kerja sama kelompok, kualitas produk akhir, serta kemampuan siswa dalam mempresentasikan hasil penelitian mereka. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan pemahaman teoretis siswa, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, serta kesadaran lingkungan yang lebih tinggi.

6. Sistem Evaluasi

Sistem evaluasi dalam pembelajaran ini dirancang untuk menilai berbagai aspek kemampuan siswa secara menyeluruh. Penilaian kognitif dilakukan melalui tes tertulis dan kuis singkat untuk mengukur pemahaman siswa terhadap konsep dasar pencemaran lingkungan dan alternatif pengendaliannya. Keterampilan praktis dinilai berdasarkan observasi langsung selama eksperimen pembuatan herbisida nabati, mencakup keterampilan laboratorium, kerja sama tim, serta kepatuhan terhadap prosedur eksperimen.

Hasil proyek juga dievaluasi berdasarkan efektivitas herbisida yang dihasilkan, kualitas dokumentasi laporan, serta kemampuan siswa dalam mempresentasikan proyek mereka. Selain itu, aspek refleksi dan pemahaman kontekstual dinilai melalui tulisan atau diskusi kelompok mengenai pengalaman dan wawasan yang diperoleh siswa terkait pentingnya penggunaan herbisida nabati dalam pengelolaan gulma secara berkelanjutan. Evaluasi ini memastikan bahwa siswa tidak hanya menguasai materi secara teoritis, tetapi juga memiliki keterampilan aplikatif dan kesadaran lingkungan yang kuat, sehingga mereka dapat berkontribusi dalam penerapan pertanian berkelanjutan di masa depan.