

BAB II

KAJIAN DAN TEORI

A. Pestisida Nabati

Menurut Eka dan Istiqomah (2022) Pestisida nabati adalah pestisida yang bahan aktifnya berasal dari tumbuh-tumbuhan dan berkhasiat mengendalikan serangan hama pada tanaman. Pengendalian hama pada pestisida berasal dari bagian tanaman yang mengandung bahan senyawa metabolit aktif seperti alkaloid, terpen, fenol, dan bahan kimia lainnya. Bahan aktif yang mempengaruhi hama ini dengan berbagai cara misalnya (antifeedant), penolak serangga (repellent), atraktan (attractant), penghambat pertumbuhan dan racun mematikan. (Astuti & Leonard, 2019 dalam Supia Rumlatur 2021 hlm 12). Menurut Schumann dan D'Arcy (2012) dalam Sumartini (2016), senyawa pestisida dapat menghambat atau mematikan hama melalui berbagai mekanisme yang spesifik. Senyawa ini dapat merusak perkembangan telur, larva, dan pupa serangga hama, sehingga mengganggu siklus hidup mereka. Selain itu, insektisida dapat mengganggu komunikasi antar serangga hama, yang merupakan kunci dalam koordinasi dan kelangsungan hidup mereka. Senyawa ini juga dapat menyebabkan serangga hama menolak makan dan mengurangi nafsu makan mereka, serta memblokir kemampuan makan secara langsung. Lebih lanjut, insektisida dapat menghambat reproduksi serangga hama betina, yang berakibat pada penurunan populasi. Akhirnya, senyawa ini dapat mengusir serangga hama, menciptakan lingkungan yang tidak kondusif bagi keberlangsungan hidup mereka. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 50 Tahun 2017, bahwa pestisida dinyatakan efektif apabila dapat membunuh $\geq 80\%$ serangga sasaran. Hal ini disebabkan kita tidak boleh memusnahkan hama secara 100% karena dapat mengganggu ekosistem.

B. Ekstrak

Menurut Kemenkes RI (2020), ekstrak adalah sediaan kental yang dibuat dengan mengekstraksi senyawa aktif dari simplisia hewani atau simplisia nabati menggunakan pelarut tertentu. Bahan baku tanaman yang diekstraksi dapat berasal dari berbagai bagian, seperti biji, buah, bunga, akar, batang, dan daun (Tiwari et al., 2011, hlm. 100). Ekstrak terbagi menjadi tiga jenis, yaitu ekstrak kering (*siccum*), ekstrak kental (*spissum*), dan ekstrak cair (*liquidum*). Menurut Zulharmitta et al. (2017) dan Kemenkes RI (2020), ekstrak kering adalah sedimen yang dihasilkan dari ekstrak tumbuhan atau hewan dengan menggabungkan dan mengeringkan ekstrak cair hingga mencapai konsentrasi yang diinginkan. Ekstrak cair adalah sediaan dari simplisia nabati yang menggunakan etanol sebagai pelarut dan pengawet. Sebaliknya, ekstrak kental adalah sediaan yang tidak dapat dituangkan dalam keadaan dingin. Endapan yang diperoleh dapat dipisahkan setelah ekstrak cair yang membentuk endapan didiamkan. Biasanya, ekstraksi dilakukan pada simplisia yang mengandung zat atau senyawa berkhasiat untuk tujuan tertentu. Proses ekstraksi ini bertujuan untuk memisahkan atau mendapatkan zat-zat berkhasiat agar lebih mudah digunakan (Syamsuni, 2006, hlm. 124).

C. Senyawa Metabolit

Menurut (Edi, 2018) Senyawa metabolit sekunder diproduksi melalui jalur di luar biosintesis karbohidrat dan protein. Ada tiga jalur utama untuk pembentukan metabolit sekunder, yaitu:

- a. Jalur asam malonate menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan melalui jalur asam malonate diantaranya: asam lemak (laurat, miristat, palmitat, stearat, oleat, linoleat, linolenic), gliserida, poliasetilen, fosfolipida, dan glikolipida.
- b. Jalur asam mevalonate menghasilkan senyawa metabolit sekunder dari jalur ini diantaranya adalah essential oil, squalent, monoterpenoid, menthol, korosinoid, streoid, terpenoid, sapogenin, geraniol, ABA, dan GA3.

- c. Jalur asam shikimat menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang disintesis melalui jalur asam shikimat diantaranya adalah asam sinamat, fenol, asam benzoat, lignin, koumarin, tanin, asam amino benzoat dan quinon.

Metabolit sekunder dibagi menjadi tiga kelompok utama berdasarkan jenis senyawa kimianya. Pertama, kelompok senyawa fenolik yang meliputi berbagai senyawa seperti flavonoid, saponin, tanin, terpenoid, dan kumarin. Senyawa-senyawa ini dikenal memiliki berbagai aktivitas biologis dan sering ditemukan dalam tumbuhan sebagai bagian dari mekanisme pertahanan alami. Kedua, kelompok senyawa terpen yang mencakup berbagai jenis seperti monoterpen, seskuiterpen, diterpen, triterpen, dan politerpen. Terpen merupakan senyawa yang banyak ditemukan pada tumbuhan dan sering kali berperan dalam memberikan aroma dan rasa khas pada berbagai tanaman. Ketiga, kelompok senyawa yang mengandung nitrogen dan sulfur, yang terdiri dari alkaloid, asam amino non-protein, dan glukosida sianogenik. Senyawa-senyawa ini juga memiliki peran penting dalam ekologi dan fisiologi tumbuhan, sering kali berfungsi sebagai pertahanan terhadap herbivora dan patogen. Masing-masing kelompok senyawa ini memainkan peran vital dalam kelangsungan hidup dan adaptasi tumbuhan (Ibrahim, 2022).

D. Sirsak



Gambar 2.1 Pohon Sirsak di Depan Pekaran
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Menurut (Widyaningrum 2012), sirsak juga dikategorikan menjadi:

Kingdom : Plantae
Clade : Tracheophytes
Clade : Angiosperms

Clade : Magnoliids
Order : Magnoliales
Family : Annonaceae
Genus : *Annona*
Species : *Annona muricata*

a. Morfologi Sirsak

Tanaman sirsak memiliki morfologi dengan sistem percabangan yang mendatar dan rapat pada daunnya. Daunnya memanjang, berukuran besar, dan lebar, dengan permukaan atas berwarna hijau mengkilap (*nitidus*), dan dasar bunganya berbentuk bulat mangkok (*perigynis*), daun-daun bunga dan benang sari terletak lebih tinggi daripada putik. Menurut Rahmani (2008), buahnya berukuran besar dan berbentuk jantung bundar atau lonjong dengan permukaan berduri.

Sirsak adalah pohon perdu atau pohon kecil dengan tinggi 3-10 meter dan bercabang hampir dari pangkalnya. Daun berbentuk lonjong dengan ujung lancip pendek, tangkai daun panjangnya 3-7 mm, dan daun kelopak berbentuk segitiga dan tiga helai. Buah yang matang berwarna hijau tua dan tertutup oleh duri-duri lunak yang panjangnya 6 mm. Dagingnya berwarna putih, dan dagingnya berwarna coklat kehitaman dan berkilap dengan banyak biji (Radi, 1997).

b. Kandungan Metabolit

Pada daun sirsak memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai pestisida nabati. Menurut Edi, 2018 hasil skrining fitokimia pada ekstrak daun sirsak (*A. muricata*) ditemukan mengandung beberapa senyawa metabolit sekunder antara lain alkaloid, flavonoid, terpenoid, kumarin dan lakton, antrakuinon, tanin, glikosida, fenol, pitosterol, dan saponin. Berdasarkan hal tersebut di atas, maka tanaman sirsak (*A. muricata*) memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai pestisida nabati, larvasida, penolak serangga (*repellent*) dan anti-feedant untuk mengendalikan serangan hama yang ramah lingkungan. Senyawa yang berpotensi dalam membunuh hama yaitu senyawa tanin, saponin, flavonoid dan acetogenin.

1) **Tanin**

Tanin adalah makromolekul yang berfungsi sebagai penolak nutrisi dan memiliki kemampuan untuk menghambat enzim, yang mengakibatkan penurunan hidrolisis pati dan gula darah pada hewan (Matsushita et al., 2002). Tanin secara alami dapat berinteraksi dengan protein dan menghasilkan protein kompleks yang bersifat racun. Ini menyebabkan nafsu makan berkurang melalui penghambatan enzim *α-amylase* pada pencernaan, yang pada gilirannya menghambat perkembangan serangga (Firdausi dkk., 2002).

2) **Saponin**

Saponin berfungsi sebagai pembunuh usus dalam pestisida nabati. Saponin menurunkan tegangan di permukaan traktus digestivus di dalam tubuh larva, menyebabkan kerusakan dan kematian larva (Kardinan et al., 2011, hlm. 149).

3) **Flavonoid**

Senyawa flavonoid mempunyai efek terhadap reproduksi yaitu antivertilitas. Sifatnya sebagai racun perut dan racun pernafasan pada serangga OPT. Menurut Batubara et al., 2012 senyawa flavonoid mengganggu sistem pernapasan serangga, merusak spirakel di permukaan tubuhnya dan mengganggu saraf sistem pernapasan, menyebabkan mereka mati dan tidak dapat bernapas.

4) **Acetogenin**

Acetogenin memiliki sifat antifeedant yang dimana membuat serangga hama tidak lagi tertarik untuk memakan bagian tanaman yang disukainya. Namun, pada konsentrasi rendah senyawa acetogenin ini hanya menjadi racun perut dapat membunuh serangga hama (Hartati, 2002).

Daun sirsak juga mengandung zat toksin lainnya yang berbahaya bagi serangga hama. Mereka juga dapat menghambat pertumbuhan serangga, mengurangi produksi telur, dan berfungsi sebagai penolak (Kardinan, 2000 dan Karganilla, 1989).

E. Kutu Daun (*Aphis gossypii*)



Gambar 2.2 Kutu Daun
(Sumber: influentialpoints)

Kingdom : Animalia
Phylum : Arthropoda
Class : Insecta
Order : Hemiptera
Suborder : Sternorrhyncha
Family : Aphididae
Genus : *Aphis*
Species : *Aphis gossypii*

A. gossypii dapat ditemukan di helai daun, ranting, cabang, batang, dan tangkai buah tumbuhan inang. Ini dapat membuat daun mengecil dan keriting, kemudian menguning dan layu. Menurut Capinera (2007), koloni *A. gossypii* di bagian pucuk tunas menyebabkan pucuk tunas tepinya melengkung atau mengulung. Menurut Blackman dan Eastop (2007) bahwa *A. gossypii* sangat berbeda dalam ukuran dan warna di antara tumbuhan inangnya dan di seluruh dunia. Pada suhu rendah, tubuhnya hijau atau hijau kehitaman, dan pada suhu tinggi, tubuhnya kuning. *Aphis gossypii* mempunyai nodus kepala yang berjauhan, kepala bagian depan relatif rata, pangkal antena tidak menonjol, sudut kutu daun lebih gelap, lebih pendek dan hitam. (Dreistadt, 2007).

1. Biologi Kutu Daun

a. Imago Bersayap (*alate*)



Gambar 2.3 Imago Bersayap
(Sumber: *influentialpoints*)

A. gossypii bersayap memiliki panjang 1,1-1,7 mm dan berwarna hitam di kepala dan toraks. abdomen berwarna kuning kehijauan dengan ujungnya yang lebih gelap. Venasi sayap coklat. Imago oviparous betina memiliki warna gelap hijau keungu-unguan yang mirip dengan imago jantan. Imago viviparous menghasilkan 70–80 keturunan, dengan rata-rata 4,3 nimfa per hari. Imago tumbuh selama 15 hari, dan imago tumbuh setelah lima hari. suhu reproduksi ideal adalah 21-27°C (Capinera, 2007).

Tubuh *A. gossypii* memiliki banyak warna, mulai dari kuning hingga hijau gelap dan hitam. Nimfa *A. gossypii* yang berwarna gelap dapat berkembang lebih cepat, meletakkan keturunan lebih banyak, dan memiliki tubuh yang lebih besar. Imago bersayap dapat berwarna kuning dan mengeluarkan tepung lilin berwarna putih pada tubuhnya. Suhu dingin, panjang hari, dan kandungan nutrisi tumbuhan inang adalah tiga faktor yang membuat *A. gossypii* berwarna gelap (Godfrey *et al.*, 2000).

b. Imago Tak Bersayap (*apterous*)



Gambar 2.4 Imago Tak Bersayap
(Sumber: *influentialpoints*)

Imago *A. gossypii* betina partenogenetik tanpa sayap berukuran 1-2 mm panjang dan memiliki berbagai warna dari hijau cerah hingga hijau gelap. Sampai warna hijau gelap, kadang-kadang dengan warna putih, kuning, dan hijau muda. Kornikel dan ujung tungkai tibia dan tarsi berwarna hitam. Kepala dan toraks berwarna hitam, dan perut berwarna hijau kekuningan, kecuali bagian paling gelapnya. Kauda memiliki setae dua atau tiga pasang. *A. gossypii* berukuran lebih kecil dan berwarna kuning dihasilkan dalam koloni yang padat (Capinera, 2007).

c. Nimfa



Gambar 2.5 Nimfa
(Sumber: *influentialpoints*)

Nimfa *A. gossypii* biasanya berwarna abu-abu sampai hijau dengan tanda hitam pada bagian abdomen, toraks, dan bakal sayap serta kepala. Berwarna hijau dengan nuansa hitam. Tubuh nimfa *A. gossypii* juga dapat berwarna pudar karena sekresi lilin menutupinya. Sebuah nimfa berlangsung selama tujuh hari (Capinera, 2007). Imago bersayap dan tidak bersayap adalah dua jenis imago *A. gossypii* yang dapat berkembang.

d. Telur

Telur *A. gossypii* hanya tumbuh di empat musim di negara tersebut. Telur baru berwarna kuning, tetapi segera menjadi hitam. Telur diletakkan pada *Catalpa bignonioides* dan *Hibiscus syriacus* (Capinera, 2007). Secara umum, 5 butir telur diletakkan setiap hari selama 16 hingga 18 hari (Simanjuntak, 2000).

2. Siklus Hidup Kutu Daun

Siklus hidup kutu daun ini dimulai dari telur yang diletakkan di bagian bawah daun oleh induk. Biasanya 5 telur menempel setiap hari selama waktu 16-

18 hari (Simanjuntak, 2000). Setelah menetas kutu daun akan menjadi nimfa yang bertubuh kecil berwarna abu-abu hingga kuning-hijau, kepala, dada dan sayap depan berwarna hitam-hijau, dan perut. Nimfa akan berkembang menjadi dewasa setelah 4-5 hari. (Capinera, 2007).

Pada masa dewasa atau imago kutu daun betina dan jantan dapat dibedakan yang dimana imago jantan memiliki bersayap dapat mencapai panjang antara 1,1 dan 1,7 mm. Tulang rusuk dan kepala berwarna hitam, sedangkan perut berwarna kuning kehijauan dengan sedikit warna gelap di ujungnya. Waktu pematangan imago biasanya adalah 15 hari, dan waktu pasca pematangan adalah lima hari. Sedangkan pada imago betina Parthenon genetik tidak bersayap, panjangnya hanya 1-2 mm, dan warnanya berkisar dari hijau muda hingga hijau tua (kadang-kadang juga putih dan kuning). Kutu daun ini dapat menghasilkan tetesan gula dan madu (Capinera, 2007).

3. Gejala Serangan Kutu Daun

Kutu daun menyerang dengan menghisap cairan tanaman, pucuk tangkai bunga, dan bagian tanaman lainnya. Akibatnya, daun menjadi belang-belang kekuningan, atau klorosis, dan akhirnya rontok, yang mengurangi produksi cabai. Serangan kutu daun terjadi pada awal musim kemarau, ketika udara kering dan suhu tinggi. Serangga akan bergerombol sehingga mereka dapat menutupi seluruh tanaman. Serangan yang signifikan menyebabkan daun melengkung, keriting, belang-belang kekuningan, dan akhirnya rontok, yang mengurangi produksi cabai (Utama et al., 2017).

Gejala serangan hama kutu daun ini menyebabkan gejala seperti bercak nekrotik pada daun dan gejala klorosis pada daun, serta serangan berat yang menyebabkan tanaman mati. Kerusakan tidak langsung, yaitu karena *A. gossypii* menghasilkan ekskresi cairan manis yang disebut embun madu yang dapat menutupi permukaan daun. Cairan ini membantu tumbuhnya cendawan jelaga berwarna hitam, yang menghambat fotosintesis dan mengganggu pertumbuhan tanaman (Utami et al., 2014).

F. Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian pertama yang relevan dilakukan oleh Lestari Wibowo et al pada tahun 2021 dengan judul “Pengaruh Aplikasi Pestisida Nabati Ekstrak Rimpang, Kunyit, Jahe dan Daun Sirih Terhadap Mortalitas Aphis sp. Pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annuum L.*)” menghasilkan Aplikasi pestisida nabati ekstrak rimpang kunyit, rimpang jahe dan daun sirih menyebabkan mortalitas Aphis sp. masing-masing sebesar 60%, 65%, dan 68% pada 5 hsa dan secara nyata berbeda dengan kontrol.

Penelitian kedua yang relevan dilakukan oleh Wahyu Eko Pranoto et al pada tahun 2020 dengan judul “Kombinasi Bawang Putih (*Allium sativum*), Serai (*Cymbopogon citratus*) dan Sirsak (*Annona muricata*) sebagai Pestisida Nabati pada Kutu Daun (*Aphis gossypii*) Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens*)” menghasilkan konsentrasi kombinasi Campuran bawang putih (*Allium sativum*), serai (*Cymbopogon citratus*) dan sirsak (*Annona muricata*) sebagai pestisida nabati pada kutu daun (*Aphis gossypii*) tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens*) terhadap kutu yang hidup kutu daun cabai rawit yaitu yang paling efektif didalam konsentrasi 40% dengan mortalitas 43,6 % tingkat ke matian kutu daun cabai rawit.

Penelitian ketiga yang relevan dilakukan oleh Fitriyani pada tahun 2020 dengan judul “Pengaruh pemberian ekstrak daun mimba sebagai pestisida nabati terhadap hama kutu kebul pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens L.*)” pada penelitian tersebut aplikasi ekstrak daun mimba dosis 150 ml/liter air pada P5 menunjukkan angka kematian kutu kebul paling tinggi, dengan rata-rata 75,00% dan intensitas rata-rata 15,62%.

Penelitian keempat yang relevan dilakukan oleh Fikri Hasfita, Nasrul ZA, Lafyati Lafyati pada tahun 2020 dengan judul “Pemanfaatan Daun Papaya (*Carica Papaya*) Untuk Pembuatan Pestisida Nabati” pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa pestisida daun papaya sangat efektif digunakan untuk untuk membunuh jenis hama rayap dengan waktu kematian tercepat diperoleh 10 menit pada pestisida termodifikasi deterjen:minyak tanah:pestisida 1:5:1, waktu perendaman 18 jam. Uji efek racun menunjukkan pestisida termodifikasi mampu menghilangkan hama

rayap mencapai 100%, ulat dan kutu daun 80% sedangkan tanpa modifikasi hanya 40% untuk ketiga jenis hama.

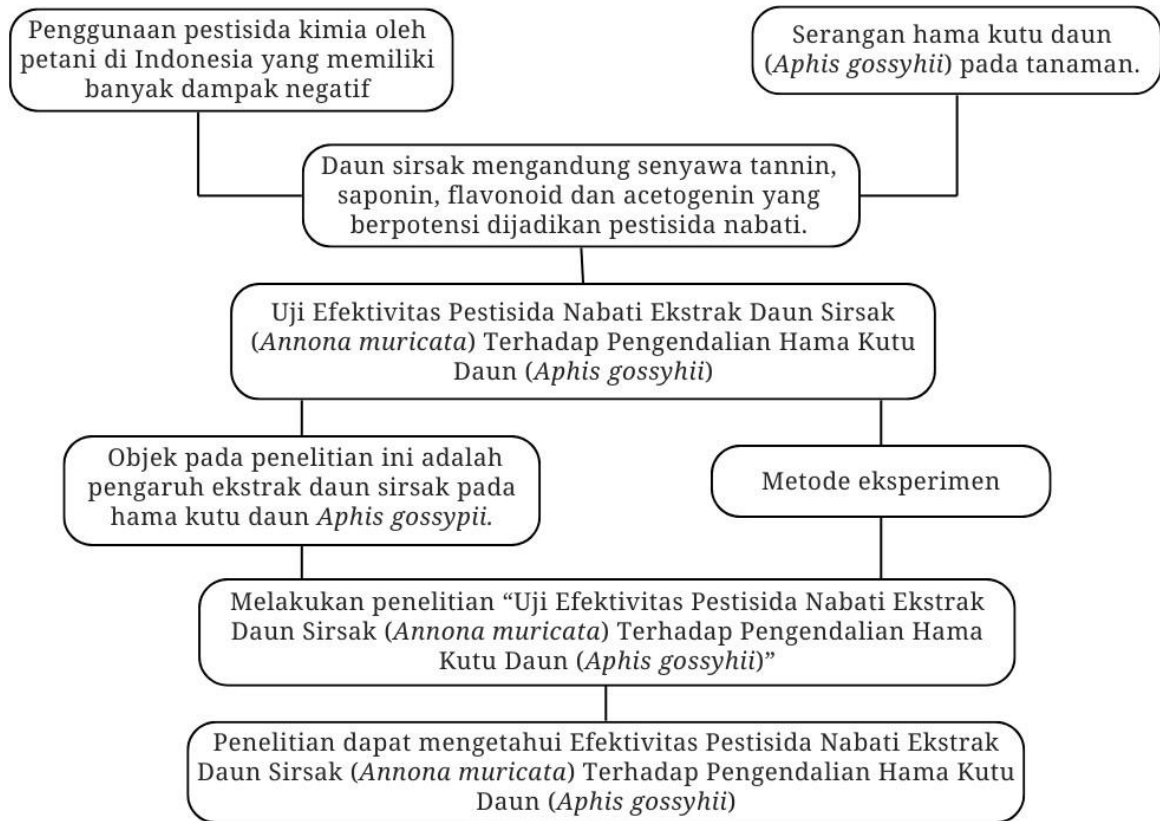
Penelitian kelima yang relevan dilakukan oleh Muhammad Toriq Arizq pada tahun 2020 dengan judul “Potensi Ajeran (*Bidens pilosa*) Sebagai Pestisida Nabati Terhadap Kutu Daun (*Aphis gossypii*) Pada Cabai Rawit” menunjukkan bahwa ajeran (*Bidens pilosa*) berpotensi sebagai pestisida nabati, karena bersifat toksik terhadap kutu daun (*Aphis gossypii*). Semakin tinggi konsentrasi yang diberikan maka semakin tinggi nilai mortalitas yang dihasilkan. Begitu pula dengan variabel rerata waktu kematian, semakin tinggi konsentrasi yang diberikan maka semakin cepat rerata waktu kematian. Konsentrasi 0.8% (P1) menghasilkan presentase kematian tertinggi dan juga rerata waktu kematian tercepat yaitu 87.36% dan selama 88.51 jam.

G. Kerangka Pemikiran

Sirsak merupakan tanaman yang sering kita jumpai disekitar perkarangan rumah ataupun sering menjadi tanaman budidaya oleh masyarakat kita untuk dikonsumsi buahnya. Tanaman sirsak hanya memanfaatkan bagian buahnya saja untuk dikonsumsi, sehingga bagian tanaman lainnya tidak dimanfaatkan oleh masyarakat kita. Padahal bagian daun tanaman sirsak memiliki senyawa metabolit seperti squamosin, asimisin, dan tannin dapat berpotensi menjadi bahan baku pestisida nabati untuk mengendalikan hama kutu daun. Hama kutu daun merupakan hama yang menyerang tanaman perkebunan yang mengakibatkan menurunnya produksi perkebunan, sehingga menyebabkan kerugian bagi para petani.

Para petani masih menggunakan pestisida kimia untuk mengendalikan hama kutu daun yang dinilai sangat cepat dalam mengendalikan hama, tetapi jika pestisida kimia ini digunakan dalam jangka waktu yang panjang akan menyebabkan kerusakan lingkungan dan dapat menimbulkan dampak negatif lainnya. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan daun sirsak yang mengandung senyawa

metabolit seperti squamosin, asimisin, dan tannin sebagai bahan baku pembuatan pestisida nabati. Kerangka pemikiran pada penelitian ini disajikan sebagai berikut:



H. Asumsi dan Hipotesis

a. Asumsi

Penggunaan senyawa tanin, saponin, flavonoid dan acetogenin dalam pestisida nabati ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) dapat mengendalikan populasi hama kutu daun (*Aphis gossypii*) yang menyerang tanaman.

b. Hipotesis

H_0 : Tidak adanya pengaruh senyawa tanin, saponin, flavonoid dan acetogenin dalam pestisida nabati ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) terhadap pengendalian hama kutu daun (*Aphis gossypii*).

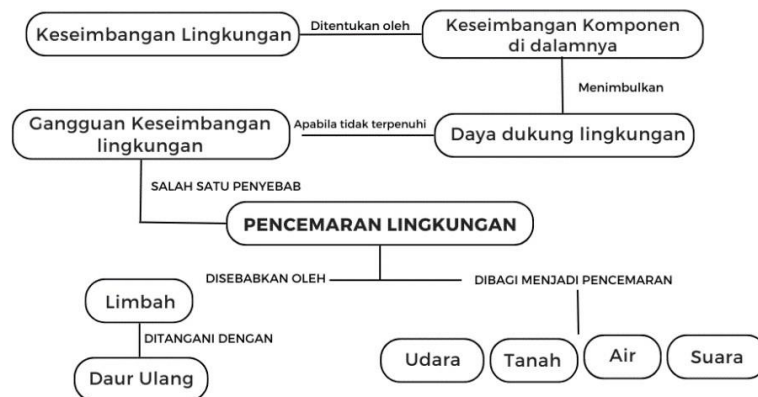
H_1 : Adanya pengaruh senyawa tanin, saponin, flavonoid dan acetogenin dalam pestisida nabati ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) terhadap pengendalian hama kutu daun (*Aphis gossypii*).

I. Analisis Materi Pembelajaran

Penelitian tentang efektivitas pestisida nabati dari ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) dalam mengendalikan hama kutu daun (*Aphis gossypii*) sangat relevan untuk dikenalkan kepada siswa SMA. Informasi ini penting untuk menunjukkan manfaat penggunaan pestisida nabati dalam mencegah kerusakan tanah akibat pestisida kimia. Hasil penelitian ini dapat diintegrasikan dalam pembelajaran Biologi pada materi perubahan dan pencemaran lingkungan dalam kurikulum Merdeka, khususnya di kelas 10 Fase E. Dalam fase ini, siswa diajak mengembangkan kemampuan menciptakan solusi untuk masalah terkait ekosistem dan perubahan lingkungan berdasarkan isu lokal, nasional, atau global. Hal ini memungkinkan guru dan siswa berinovasi dan kreatif dalam pembelajaran berbasis proyek dengan tema “Membuat proyek mengenai cara menjaga dan mengatasi pencemaran lingkungan.” Pendekatan ini sejalan dengan pendapat Sherly et al. (2020) yang menyatakan bahwa kebebasan di sekolah mendorong inovasi, pembelajaran mandiri, dan kreativitas, dimulai dari guru sebagai penggerak.

1. Keluasan dan Kedalaman Materi

Pada Fase E kelas X, peserta didik diharapkan untuk memahami keluasan materi perubahan dan pencemaran lingkungan yang telah disajikan melalui peta konsep. Materi ini mencakup berbagai aspek perubahan lingkungan dan jenis-jenis pencemaran, serta dampak-dampaknya terhadap ekosistem.



2. Karakteristik dan Kedalaman Materi

Materi ini memiliki karakteristik yang konkret, sehingga dapat dirasakan langsung oleh peserta didik dalam kehidupan sehari-hari. Dengan demikian, siswa dapat melihat fenomena dan dampak dari perubahan dan pencemaran lingkungan secara nyata, sehingga memudahkan mereka untuk memahami materi melalui pengalaman dan pengamatan langsung. Hal ini memungkinkan pembelajaran menjadi lebih relevan dan bermakna bagi siswa. Hal itu dapat menumbuhkan sikap positif peserta didik dalam merespon pembelajaran (Fathan, 2020)

3. Perubahan Perilaku Hasil Belajar

Hasil belajar mengenai materi perubahan dan pencemaran lingkungan diharapkan dapat mendorong perubahan perilaku peserta didik ke arah yang lebih peduli terhadap lingkungan. Dengan pemahaman yang mendalam tentang dampak negatif dari pencemaran dan perubahan lingkungan, serta pengalaman langsung yang mereka dapatkan, siswa akan lebih termotivasi untuk mengambil tindakan yang lebih ramah lingkungan dalam kehidupan sehari-hari. Mereka akan lebih sadar akan pentingnya menjaga kebersihan lingkungan, mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya, dan mendukung praktik-praktik keberlanjutan. Selain itu, pemahaman ini juga akan mendorong mereka untuk menjadi agen perubahan di komunitas mereka, dengan menyebarkan pengetahuan dan mengajak orang lain

untuk bersama-sama menjaga dan melestarikan lingkungan. Kamiludin, dkk. (2017:59) menyatakan bahwa kurikulum merupakan seperangkat program pendidikan yang telah disusun dan dilaksanakan untuk mencapai tujuan pendidikan yang di dalamnya terdapat komponen yang saling berkaitan dan mendukung satu sama lain melalui proses ini, diharapkan siswa tidak hanya memahami materi secara teoritis, tetapi juga menginternalisasi nilai-nilai lingkungan dan menerapkannya dalam tindakan nyata yang berdampak positif bagi ekosistem dan kualitas hidup secara keseluruhan.

4. Bahan dan Media Pembelajaran

Bahan dan media ajar yang cocok untuk materi perubahan dan pencemaran lingkungan meliputi sumber belajar interaktif seperti video, artikel, dan modul tentang pencemaran lingkungan serta teknik pembuatan pestisida nabati. Proyek pembuatan pestisida nabati dapat memanfaatkan bahan alami seperti daun sirsak, bawang putih, dan neem. Media ajar seperti demonstrasi langsung, panduan praktikum, dan proyek kolaboratif akan membantu siswa memahami proses pembuatan pestisida nabati secara aplikatif. Hal tersebut sesuai dengan pandangan Wahyudi, Hariyadi, dan Hariani (2014) menyatakan bahwa kemampuan guru dalam merancang bahan ajar sangat berperan dalam menentukan keberhasilan proses pembelajaran di sekolah. Pendekatan ini memungkinkan siswa belajar secara langsung melalui eksperimen dan praktik, sehingga materi lebih mudah dipahami dan relevan dengan kehidupan sehari-hari.

5. Strategi Pembelajaran

Strategi pembelajaran untuk materi perubahan dan pencemaran lingkungan melalui proyek pembuatan pestisida nabati dapat menggunakan pendekatan berbasis proyek (PBL), yang melibatkan siswa secara aktif dalam proses pembelajaran. Hal ini sesuai dengan pandangan Suherman (2003), PBL adalah model pembelajaran yang menggunakan masalah dunia nyata sebagai konteks bagi siswa untuk belajar berpikir kritis dan keterampilan pemecahan masalah. Pertama, guru memperkenalkan konsep melalui diskusi kelas dan

multimedia untuk memberikan gambaran menyeluruh. Selanjutnya, siswa dibagi dalam kelompok kecil untuk mengidentifikasi tanaman lokal seperti daun sirsak atau neem yang dapat digunakan sebagai bahan pestisida nabati.

6. Sistem Evaluasi

Dalam pembelajaran perubahan dan pencemaran lingkungan, evaluasi proyek pembuatan pestisida nabati mencakup penilaian pengetahuan melalui ujian, keterampilan praktis melalui observasi, dan hasil akhir produk. Kerjasama dan proses dinilai dengan rubrik, sementara dokumentasi dan presentasi dievaluasi berdasarkan kelengkapan dan kejelasan. Refleksi dan pemahaman kontekstual dinilai melalui tulisan atau diskusi. Evaluasi ini memastikan siswa menguasai materi teoretis, mampu menerapkannya, dan memahami dampak lingkungan jangka panjang. Menurut Dominowski (2002), Evaluasi adalah proses menilai kecukupan solusi atau tindakan yang telah diambil selama usaha menyelesaikan suatu masalah. Ini mencakup analisis terhadap jawaban yang diajukan atau langkah-langkah yang diterapkan untuk memastikan apakah mereka efektif dan memadai.