

BAB II

KAJIAN TEORI DAN KERANGKA PEMIKIRAN

A. Kajian Teori

1. Buah Mengkudu



Gambar 2.1 Buah mengkudu

(sumber :<https://www.halodoc.com/artikel/ini-10-manfaat-mengkudu-bagi-kesehatan-tubuh>, 2024)

Klasifikasi dari tanaman mengkudu menurut Conquist (1981) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Devisi	: Magnoliophyta
Subdevisi	: Angiospermae
Kelas	: Magnoliopsida
Subkelas	: Asteriidae
Ordo	: Rubiales
Family	: Rubiaceae
Genus	: <i>Morinda</i>
Spesies	: <i>Morinda citrifolia</i> , L. Conquist (1981).

Istilah latin *Morus* yang berarti murbei dan *Indicus* yang berarti India, negara India merupakan asal usul tanaman mengkudu yang dikenal dengan nama *Morinda*. Nama ini menyinggung kemiripan tanaman mengkudu dengan murbei asli *Morus alba* (Hilda *et al.*, 2023). Karena tanaman ini tumbuh di setiap benua di dunia, maka mengkudu telah dikenal selama ribuan tahun. Sekitar 60 persen dari 80 spesies mengkudu, termasuk yang ditemukan di pulau-pulau di lautan Indonesia dan Pasifik, ditemukan di Malaysia, menurut ilmuwan Inggris H.B. Guppy (1900). Tanda-tanda tersebut menunjukkan bahwa tanaman mengkudu merupakan tanaman asli daerah tropis Asia (Rukmana, 2016).

Tanaman yang terkenal dengan buahnya ini kaya akan protein, polisakarida, scopoletin, β -karoten, l-arginin, proxeroin, dan proxeroninase. Ini juga mengandung asam karbonat. Askorbin, betakaroten, zat besi, jeruk nipis, dan protein banyak ditemukan pada daun mengkudu. Kulit akarnya mengandung bahan kimia yang disebut soranjideol, aligarindmethyleter, morindon, dan morindin. Bunganya antara lain asam kapronat, antrakuinon, bahan kimia glikosida, dan asam kaprilat (Sasmito, 2017).



Gambar 2.2 Daun Mengkudu

(Sumber :<https://www.halodoc.com/>, 2024)

Daun dari tanaman mengkudu saling berseberangan, dengan tulang daun menyirip. Bilahnya berbentuk bulat telur, panjang daun sekitar 20 cm hingga 45 cm, sedangkan lebarnya 7 cm hingga 25 cm, permukaan daun tidak berbulu dan mengkilap

berwarna hijau dengan urat yang menonjol. Tangkai daunnya kokoh, panjangnya 1,5 hingga 2 cm. Bunga mengkudu adalah bunga sempurna yang berbentuk corong kecil.

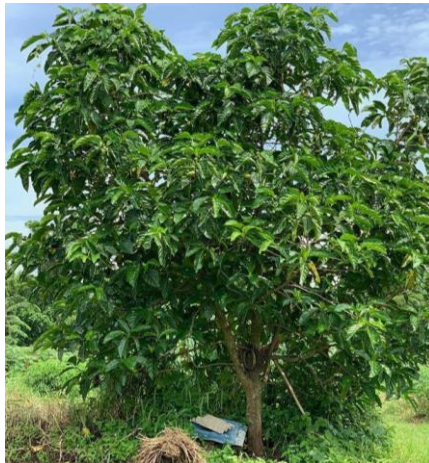
P



Gambar 2.3 Bunga Mengkudu

(Sumber : <https://www.halodoc.com/>, 2024)

Bunga mengkudu merupakan bunga majemuk yang tumbuh pada ketiak daun, mahkotanya berwarna putih yang berlobus lima, dengan tabung mahkota berwarna putih kehijauan, dan panjangnya 7 hingga 9 mm. Bunga mengkudu ini memiliki aroma manis (Hilda *et al.*, 2023). *Morinda citrifolia* L .dapat berbuah beberapa kali dalam setahun. Buah pada tanaman ini berbentuk lonjong dan diameternya berkisar antara 5 hingga 7 cm. Kulit buah dipisahkan menjadi sel-sel poligonal atau beraneka segi yang berbintik-bintik dan kutil. Buah mengkudu sering kali berwarna hijau saat muda, dan menjadi hitam seiring bertambahnya usia. Saat belum matang, buah mengkudu berwarna hijau; bila matang warnanya putih cemerlang. Daging buahnya lembut, berair, dan rasanya seperti keju; ketika dingin, rasanya semakin kuat dan menjadi lebih pedas (Hilda *et al.*, 2023).



Gambar 2.4 Pohon Mengkudu

(Sumber : <https://www.socfindoconservation.co.id/about-us>, 2024)

Tanaman mengkudu menghasilkan buah setiap tahunnya karena tanaman ini berbuah tidak tergantung pada musim. Bentuk dan ukuran buahnya bervariasi dan memiliki banyak biji, bahkan lebih dari 300 biji dalam satu buah, tetapi ada juga jenis mengkudu dengan sedikit biji. Biji dibungkus oleh lapisan atau kantong biji, yang membuatnya tahan lama dan tumbuh dengan cepat. Oleh karena itu, memperbanyak mengkudu dengan biji sangat mudah. Berasal dari Polinesia hingga India, tanaman mengkudu konon berasal dari Asia Tenggara, Australia Tropis, dan Oseania. Tanaman mengkudu kini ditanam secara komersial di Amerika Latin dan seluruh daerah tropis.



Gambar 2.5 Biji Buah Mengkudu

(Sumber: Botanipedia.com, 2024)

Biji buah mengkudu memiliki ukuran yang kecil dengan panjang sekitar 4 mm berbentuk persegi panjang dan memiliki ruang udara di dalamnya dan berwarna kemerah-merahan. Bijinya bersifat hidrofobik, ini ditandai dengan ruang udara yang tahan lama, anti air dan memiliki mantel biji yang berserat. Kulit biji sangat keras dan tebal, dan ditutupi dengan lapisan perkamen yang mirip dengan plastik. Sebuah buah mengkudu dapat mengandung 100-150 biji, dan biji dapat dimakan saat dipanggang (Hilda *et al.*, 2023).

a. Manfaat Buah Mengkudu

Buah mengkudu, dikenal juga dengan nama noni (*Morinda citrifolia* L.), adalah buah yang berasal dari daerah Asia Tenggara dan telah lama digunakan dalam pengobatan tradisional di berbagai budaya. Buah ini memiliki ciri khas bentuknya yang berbintik-bintik, berwarna hijau kekuningan saat matang, dan memiliki aroma yang kuat dan khas. Buah mengkudu memiliki banyak senyawa kimia yang bermanfaat, antara lain senyawa terpenoid, asam (askorbat, kaproat, karpitat), zat anti bakteri (ancubin, lasperuloside, alizarin, antrakuinon), dan zat gizi (karbohidrat, vitamin, protein, dan mineral esensial). Buah mengkudu digunakan sebagai antioksidan. Selain itu memiliki kandungan anti kanker (Inggraini *et al.*, 2022).

Menurut Hilda *et al.*, (2023) dalam bukunya menjelaskan bahwa buah mengkudu (*Morinda citrifolia* L.), juga dikenal sebagai noni, memiliki berbagai manfaat kesehatan yang telah dikenal dalam pengobatan tradisional dan modern. Beberapa manfaat buah mengkudu antara lain:

1) Meningkatkan Sistem Kekebalan Tubuh:

Berbagai fitokimia yang terkandung dalam buah mengkudu berpotensi memperkuat sistem kekebalan tubuh dan meningkatkan daya tahan tubuh terhadap penyakit dan infeksi. Mencegah dan memperbaiki kerusakan sel yang terjadi ketika tubuh terpapar radikal bebas, yang dapat disebabkan oleh asap rokok, polutan beracun, paparan sinar matahari berkepanjangan, atau paparan radiasi. Radikal bebas dapat dengan cepat merusak jaringan dan sel manusia. Buah mengkudu terkenal karena

kemampuannya menurunkan tingkat radikal bebas dan menyembuhkan kerusakan sel akibat paparan bahan kimia tersebut.

2) Mengandung Antioksidan:

Buah mengkudu memiliki manfaat antioksidan yang signifikan sehingga berkontribusi pada berbagai aspek kesehatan. Antioksidan merupakan senyawa yang membantu melindungi sel-sel tubuh dari kerusakan oksidatif akibat radikal bebas. Mengkudu banyak mengandung antioksidan, antara lain vitamin C, vitamin E, dan senyawa flavonoid yang membantu melindungi sel-sel tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa ekstrak buah mengkudu mampu menurunkan kolesterol jahat LDL dan trigliserida, selain itu juga mencegah kadar kolesterol yang dapat menyebabkan stroke dan serangan jantung pada pembuluh darah. Hal ini mungkin disebabkan oleh tingginya kandungan antioksidan dan anti inflamasi pada buah mengkudu.

3) Mengurangi Peradangan

Sifat anti-inflamasi dari mengkudu dapat membantu mengurangi peradangan dan pembengkakan, yang bermanfaat untuk kondisi seperti arthritis dan masalah peradangan lainnya.

4) Menurunkan Tekanan Darah

Ekstrak buah mengkudu diketahui memiliki efek vasodilatasi, yang dapat membantu menurunkan tekanan darah tinggi dan meningkatkan kesehatan kardiovaskular.

5) Meningkatkan Energi dan Stamina

Mengonsumsi jus mengkudu secara teratur dapat meningkatkan energi dan stamina, membantu mengurangi kelelahan dan meningkatkan performa fisik. Menurut penelitian laboratorium kecil, buah mengkudu mungkin membantu menjaga berat badan ideal dan mencegah obesitas. Ini mungkin karena kemampuan mereka untuk mengurangi kolesterol dan lemak serta meningkatkan metabolisme.

6) Mengatasi Masalah Pencernaan

Buah mengkudu dapat membantu meredakan berbagai masalah pencernaan seperti sembelit, kembung, dan gangguan pencernaan lainnya.

7) Menjaga Kesehatan Kulit

Kandungan antioksidan dan sifat anti-inflamasi dari mengkudu juga bermanfaat untuk kesehatan kulit, membantu mengatasi jerawat, eksim, dan masalah kulit lainnya.

8) Mengontrol Gula Darah

Menurut beberapa penelitian, mengkudu dapat membantu menurunkan gula darah sehingga bermanfaat bagi penderita diabetes. Mayoritas orang mengira buah mengkudu membantu menurunkan gula darah ketika tinggi dan tidak terkontrol, sehingga dapat menyebabkan diabetes tipe 2. Menurut sebuah penelitian, buah mengkudu membantu menstabilkan dan menurunkan kadar gula darah. Karena hormon insulin dapat mengatur kadar gula darah dengan lebih baik, hal ini dimungkinkan.

9) Meningkatkan Fungsi Otak

Sifat neuroprotektif dari buah mengkudu dapat membantu melindungi otak dari kerusakan dan mendukung fungsi kognitif yang sehat.

10) Mengurangi Nyeri

Buah mengkudu telah digunakan dalam pengobatan tradisional sebagai analgesik untuk membantu mengurangi nyeri, termasuk nyeri sendi dan otot. Secara tradisional, buah mengkudu telah digunakan untuk meredakan nyeri dan peradangan. Ekstrak buah ini juga membantu mengurangi pembengkakan dan nyeri sendi yang disebabkan oleh osteoarthritis.

b. Ekstrak Buah Mengkudu sebagai Insektisida Nabati

Larutan pekat yang dikenal sebagai ekstrak buah mengkudu dibuat dengan menggunakan pelarut yang tepat untuk mengekstrak bahan aktif buah. Menurut Nugroho (2017), ekstraksi adalah proses menghilangkan bahan kimia metabolit sekunder yang relevan dari biomassa, sisa, atau bagian yang tidak diperlukan. Karakteristik ini mengurangi potensi zat aktif dan menghalangi penyajiannya. Bahan dapat diekstraksi dengan berbagai metode, dari yang paling kuno dan primitif hingga yang paling canggih. Teknik pemilihannya ditentukan oleh sejumlah faktor, antara lain

komposisi bahan, hasil, kualitas yang diinginkan, stabilitas metabolit sekunder, serta pertimbangan biaya dan waktu (efisiensi).

Sebelumnya telah dilaporkan bahwa ekstrak buah mengkudu memiliki aktivitas dalam menghambat perkembangan larva *Plutella xylostella* yang mengakibatkan larva tidak dapat berkembang dengan sempurna (Hasnah & Nasril, 2009). Sanjaya *et al.* (2017) dalam penelitiannya juga menyatakan bahwa Ekstrak buah mengkudu memiliki daya bunuh mortalitas larva *Plutella xylostella* yang paling cepat. Selain itu diketahui bahwa ekstrak buah mengkudu alam penelitian yang dilakukan Pratiwa *et al.* (2015) efektif terhadap mortalitas rayap tanah. Hal ini disebabkan oleh senyawa-senyawa toksik pada ekstrak buah mengkudu yang merusak jaringan saraf, seperti senyawa alkaloid sehingga menghambat proses larva menjadi pupa.

Ekstrak buah mengkudu dapat mengakibatkan kematian mencit karena kehilangan nafsu makan setelah mengkonsumsi ekstrak mengkudu. Buah mengkudu senyawa metabolit tersusun dari senyawa alkaloid dan glikosida yang bersifat beracun, sehingga bisa dimanfaatkan sebagai pestisida alami (Sogandi dan Rabima, 2019). Berdasarkan penelitian Rahmawasih, dkk (2019), kelompok kontrol memiliki nafsu makan tikus yang lebih tinggi daripada kelompok perlakuan karena zat dalam mengkudu dapat mengganggu pencernaan tikus.

1) Senyawa Metabolit yang Terkandung dalam Buah Mengkudu

Bahan penyusun utama alam disebut metabolit sekunder. Bahan alam diartikan sebagai bahan organik yang berasal dari alam yang telah terbukti mempunyai manfaat kesehatan tertentu melalui penelitian tradisional dan puempiris, serta pemanfaatannya secara turun-temurun. Bahan-bahan tersebut dapat berupa sediaan segar, kering, ekstrak, atau senyawa tunggal yang telah mengalami pemurnian. Zat dengan berat molekul rendah yang disebut metabolit sekunder terdapat dalam jumlah kecil di organisme pembuatnya. Mereka berfungsi sebagai pendukung, seperti agen pertahanan diri, dan bukan sebagai komponen penting metabolisme atau sarana utama keberadaan suatu organisme (Nugroho, 2017).

Fitokimia, juga dikenal sebagai metabolit sekunder, dapat dikelompokkan berdasarkan susunan kimianya, kelarutan dalam berbagai jenis pelarut, atau proses

produksi dalam organisme penghasil. Menurut biosintesisnya, terpenoid, alkaloid, dan fenolik adalah tiga kelas utama metabolit sekunder; masing-masing berisi anggota yang sangat kompleks (Nugroho, 2017).

Mengkudu mengandung glikosida, eugenol, proxeronin, resin, scolopetin, serotonin, antrakuinon, terpenoid, asam askorbat, dan alkaloid. Beberapa kandungan buah mengkudu dianggap memiliki kemampuan untuk mencegah serangan dari faktor biologis. Di antaranya adalah alkaloid yang mengandung senyawa antijamur dan penolak serangga. Selain itu, senyawa flavonoid yang mengontrol pertumbuhan tumbuhan juga dapat bertindak sebagai senyawa antivirus dan antimikroba terhadap serangga (Hilda *et al.*, 2023)

2) Jenis Senyawa yang Terdapat Pada Ekstrak Buah Mengkudu

Berikut adalah beberapa komponen utama yang mungkin bertanggung jawab untuk manfaat tanaman mengkudu, antara lain:

- a) Xeronine adalah co-regulator penting dari metabolisme yang tepat. Heinicke menetapkan pada tahun 1985 bahwa tanaman mengkudu mempunyai alkaloid seperti komponen nanas bromelain. Enzim pro-kolagenase dan protease, misalnya, merupakan protein dan enzim yang dapat diaktifkan oleh xeronine. Tindakan ini dapat membantu penyembuhan jaringan yang terluka dan mencegah perkembangan penyakit.
- b) Scopoletin merupakan penghambat histamin, analgesik, antibakteri, antijamur, antiinflamasi, dan modulator serotonin selain kemampuannya dalam memperlebar pembuluh darah. Baik sebagai antihipertensi dan antibakteri (Duncan *et al.*, 1998), scopoletin memiliki aplikasi yang potensial (Solomon, 1999).
- c) Senyawa antrakuinon merupakan zat berwarna ungu kemerahan yang larut dalam pelarut dan basa organik. Mereka adalah zat kristal dengan titik leleh tinggi. Molekul antrakuinon dan turunannya sering kali diamati memiliki warna kuning hingga oranye, menurut Setyawaty *et al.* (2014). Molekul antrakuinon digunakan dalam pengobatan karena sifat antijamur, antimalaria, antibakteri, antikanker, dan antioksidan. Salah satu molekul metabolit sekunder

yang merupakan bagian dari kelompok kuinon fenolik, senyawa antrakuinon berasal dari turunan fenol selama produksinya.

- d) Galaktosa, arabinosa, rhamnosa, dan asam glukuronat merupakan polisakarida yang mempunyai sifat anti tumor, imunostimulan, dan imunomodulator. Mereka mungkin juga terlibat dalam pertempuran melawan kanker.
- e) Flavonoid merupakan kelompok senyawa fenolik yang paling beragam dan dapat ditemukan di hampir semua tumbuhan. Jaringan epidermis pada daun dan kulit buah biasanya mengandungnya. Flavone, flavonol, isoflavone, flavanone, flavan-3-ol, dan anthocyanin adalah kelompok utama flavonoid. Kelompok flavonoid yang lebih kecil termasuk chalcone, dihydroflavonol, aurone, dan coumarin. Flavonoid secara alami melindungi tumbuhan dari berbagai penyakit dan sinar matahari ultraviolet. Banyak penelitian telah menunjukkan bahwa flavonoid, sebagai polifenol, berfungsi sebagai anti kanker, anti-inflamasi, antioksidan, antialergi, antiviral, dan antimelanogenesis. Selain itu, beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa flavonoid memiliki kemampuan untuk menghentikan oksidasi low-density lipoprotein (LDL), yang dapat mengurangi risiko aterosclerosis dan penyakit pembuluh darah lainnya.
- f) Alkaloid adalah zat alami ini yang biasanya memiliki rasa pahit. Misalnya daun pepaya yang mengandung alkaloid carpaine yang memiliki sifat anti plasmodial, rasanya pahit. Zat fitokimia yang disebut alkaloid memiliki berbagai sifat farmakologis, termasuk tindakan antibakteri, antikanker, antihiperglikemik, dan antiasma.
- g) Sebab saponin mudah terlarut dalam air, senyawa berbahaya bagi ikan dan hewan berdarah dingin lainnya, ada beberapa praktik untuk meracuni ikan dengan bahan tumbuhan yang mengandungnya. Selain itu, saponin memiliki manfaat lain, seperti sebagai senyawa anti-inflamatori, digunakan dalam industri farmasi, membentuk busa pada pemadam kebakaran, dan dapat digunakan untuk menghapus hama udang.
- h) Proses kondensasi menghasilkan semua terpenoid. Proses ini dimulai dengan unit terkecil, isoprene, yang memiliki struktur yang terdiri dari lima atom

karbon (C5). Senyawa terpenoid diklasifikasikan menurut jumlah isoprene yang ada pada struktur inti mereka. Banyak senyawa aromatik seperti carryophyllene, mentol, linalool, geraniol, myrcene, dan geraniol berasal dari monoterpen (C10) yang memiliki dua unit isoprene dan sesquiterpen (C15) yang memiliki tiga unit isoprene. Terpene (C20), triterpene (C30), dan tetraterpene (C40) adalah kelompok lain dengan karakteristik fisik dan kimia yang berbeda.

3) Mekanisme Toksik Ekstrak Buah Mengkudu dalam Membasmi Hama

Salah satu metode yang bermanfaat secara ekologis untuk mengatasi masalah hama adalah penggunaan pestisida nabati. Tanaman mengkudu merupakan salah satu tanaman yang dapat digunakan sebagai pestisida nabati untuk mengatasi permasalahan serangga. Hal ini dikarenakan tanaman mengkudu mengandung molekul kimia yang disebut flavonoid yang termasuk dalam golongan racun yang memperlambat metabolisme dan sistem saraf (Sarjani et al., 2023).

Campuran senyawa nabati, termasuk fenol, triterpenoid, alkaloid, dan steroid, memiliki tindakan biologis yang unik, termasuk penghambat makan beracun, antiparasit, dan insektisida, selain berfungsi sebagai pengendali hama (Pratiwa 2015).

Sebuah studi yang dilakukan oleh Septian *et al.* (2013) menemukan bahwa ekstrak buah mengkudu matang tidak hanya dapat menyebabkan kematian, tetapi juga dapat menghentikan pertumbuhan larva *S. litura*. Makanan *S. litura* yang diobati dengan ekstrak buah mengkudu matang akan menyebabkan aktivitas enzim berkurang, proses pencernaan yang buruk, dan bahkan kematian karena senyawa aktif.

Senyawa alkaloid ini beracun bagi serangga dan mempunyai sifat antifeedant dan repellent. Hal ini sejalan dengan penelitian Mega *et al.*, (2021) yang menyatakan bahwa variasi konsentrasi dan kandungan residu pada bahan sumber pestisida alternatif—buah mengkudu matang—menyebabkan angka kematian.

Saponin, alkaloid, flavonoid, tanin, minyak atsiri, dan antrakuinon merupakan salah satu komponen aktif yang terdapat pada ekstrak *M. citrifolia* (Armi *et al.*, 2019). Mekanisme berikut menjelaskan bagaimana bahan kimia ini berkontribusi terhadap

kematian hama: Dalam sistem pernafasan, molekul flavonoid bertindak sebagai neurotoksin (Asikin dan Akhsan, 2019). Mekanisme anti-kolinesterase dari interaksi antara flavonoid dan saponin menjadikannya berpotensi neurotoksik. Hal ini menyebabkan fosforilasi enzim kolinesterase, menjadikannya tidak aktif, dan akhirnya menyebabkan kejang otot sistem pernapasan yang membunuh serangga tersebut (Rahman *et al.*, 2020).

Menurut Darwiati dkk. (2020), saponin mempunyai kemampuan mempengaruhi kerja nutrisi dan enzim pencernaan dalam tubuh serangga. Demikian pula senyawa tanin menghambat kerja enzim pencernaan pada serangga yang menyebabkan terganggunya saluran pencernaan dan kerusakan dinding usus yang pada akhirnya menyebabkan kematian serangga (Armi *et al.*, 2019). Menurut Wuragil dkk. (2019), minyak atsiri berpotensi memicu gangguan sistem saraf dan sistem pencernaan, sehingga dapat mengakibatkan keracunan lambung. Ketika dosis tinggi diberikan, persentase kematian juga meningkat. Hal ini disebabkan oleh komponen aktif kompleks dari bahan yang diekstraksi.

Menurut Eaton dan Hale (1993), bahan kimia bioaktif mempunyai kekuatan untuk merusak sistem saraf serangga, yang mengakibatkan kematian rayap akibat gangguan sistem saraf yang menyebabkan kejang otot. Pratiwa (2015) menyatakan bahwa zat bioaktif pada ekstrak buah mengkudu mempunyai kemampuan menghancurkan protozoa rayap di dalam perutnya. selulosa yang tidak dapat dipecah oleh rayap atau enzimnya dihilangkan oleh protozoa yang ditemukan di perutnya. Akibatnya, rayap pun ikut musnah bersama protozoa.

2. Insektisida Nabati

Hasibuan (2015) dalam bukunya mengatakan bahwa insektisida adalah bahan kimia beracun digunakan dalam membasmi serangga hama dan juga dapat berbahaya bagi kesehatan manusia. Dalam beberapa penelitian tentang teknik pengendalian organisme pengganggu tanaman menyebutkan bahwa insektisida merupakan golongan pestisida tertua yang telah dimanfaatkan sebagai pengendali hama yang beracun.

Menurut Trisyono (2019) insektisida merupakan suatu teknologi yang dirancang untuk mengendalikan sekaligus membunuh serangga hama. Teknologi ini digunakan jauh sebelum terjadi Perang Dunia Kedua (PD ke-2), dan semakin populer sejak ditemukan dan dipasarkannya berbagai insektisida berbahan kimia sintetik pada kurun waktu Perang Dunia Kedua (PD ke-2). Pada masa revolusi hijau pemanfaatan insektisida mencapai puncaknya, semakin banyak petani yang menggunakan insektisida untuk meraih hasil panen yang tinggi.

Ketergantungan penggunaan insektisida didasari oleh letusan hama yang perlu ditangani dengan cepat dan mudah. Insektisida menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan dengan teknologi perlindungan tanaman lainnya. Keunggulan yang dimiliki insektisida antara lain adalah bekerja cepat dalam membasmi hama sehingga hasil dapat segera terlihat, selain itu penggunaan yang mudah dan produk insektisida yang dijual dipasaran relatif murah. Namun, sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (Trisyono, 2019).

a. Perkembangan Insektisida

Jauh sebelum manusia bisa membaca dan menulis, mereka sudah berlatih melindungi tanaman. Bangsa Sumeria menggunakan belerang sekitar 2500 SM untuk mengusir banyak serangga dan tungau. Kemudian, sekitar tahun 1500 SM, orang Tiongkok menggunakan debu kayu dan kapur untuk mengusir serangga pengganggu. Orang Cina juga menemukan penggunaan ekstrak tumbuhan sebagai pestisida biologis untuk mengendalikan hama di gudang pada tahun yang sama. Untuk selanjutnya, Cato mengusulkan pemanasan aspal sekitar tahun 200 SM guna mengusir serangga yang memangsa daun anggur dengan asapnya (Hasibuan, 2015).

Dioscorides seorang dokter Romawi pada tahun 40-90an telah mengetahui sifat racun senyawa arsenik. Namun, laporan mencatat bahwa senyawa arsenik pertama kali dimanfaatkan sebagai insektisida pada tahun 1969 oleh dunia Barat. Ekstrak daun tembakau dicampur dan diaplikasikan pada pohon persik pada tahun 1690-an untuk mencegah hama skala. Selain itu, sebelum tahun 1800, bangsa Persia menggunakan pestisida untuk mengendalikan hama yang mengancam manusia, termasuk kutu (Hasibuan, 2015).

Pada tahun 1939 perusahaan J.R. Geigy membuat sebuah produk berbentuk bubuk kristal berwarna putih yang dinamakan DDT (*Dichlorodiphenyl Trichloroetana*). Paul Muller yang menciptakan insektisida DDT ini telah mendorong perubahan besar tentang konsep penggunaan pestisida terutama golongan insektisida sebagai salah satu teknik pengendalian hama penting. Awalnya insektisida digunakan untuk memberantas penyakit malaria dan tifus yang menyerang tentara sekutu di daerah tropis pada waktu Perang Dunia ke II. Namun, penggunaan insektisida semakin meningkat dalam mengendalikan berbagai jenis hama khususnya hama pada bidang pertanian.

Tahun 1877 adalah awal mula penemuan dan perkembangan insektisida modern, ketika *paris green* diaplikasikan pada tanaman kentang untuk mengendalikan hama kumbang *Colorado*. Sejarah penemuan *Paris Green* ini diawali dengan penemuan Carl Scheele di tahun 1777 yang menggunakan senyawa arsenic dalam campuran anti serangga hama dan yang kemudian diketahui sebagai campuran senyawa *Paris Green*. Nama umum senyawa ini adalah copper (II) acetate triarsenite = copper (II) atau acetoarsenite dengan rumus kimia $Cu(C_2H_3O_2)_2 \cdot 3Cu(AsO_2)_2$. Oleh karena itu, *Paris Green* juga dikenal dengan berbagai nama *Emerald Green*, *Parrot Green*, *Schweinfurt Green*, *Imperial Green*, *Vienna Green* dan *Mitis Green*. *Paris Green* mengandung Arsen (As) sehingga digolongkan pada senyawa yang sangat beracun. Dalam masa perkembangannya, Insektisida *Paris Green* dipasarkan dalam bentuk tepung yang dikemas dalam berbagai kemasan (Hasibuan, 2015).

Dalam bukunya Hasibuan (2015) menuliskan bahwa abad ke-15 adalah awal mula perkembangan industri insektisida, hal ini ditandai dengan ditemukannya berbagai senyawa beracun seperti arsenik, merkuri dan serbuk timah yang diketahui dapat memberantas hama. Perkembangan insektisida cukup pesat hingga ditemukan berbagai macam insektisida baru.

b. Jenis Insektisida

Sudarsono (2015) mengatakan bahwa insektisida dikelompokkan berdasarkan penyusun bahan aktifnya dan berdasarkan cara masuknya racun insektisida ke dalam tubuh serangga hama atau bagaimana terpaparnya serangga oleh insektisida.

Umumnya bahan aktif yang lebih sering dipakai pada insektisida antara lain *carbon, hydrogen, oxigen, nitrogen, phospor, chlorine, dan sulfur*. Maka berdasarkan unsur kimia penyusunnya (bahan aktif) insektisida digolongkan menjadi empat kelompok yaitu: (1) Insektisida anorganik, (2) Insektisida botani/nabati, (3) Insektisida mikroba, dan (4) Insektisida sintetik (Hasibuan, 2015). Bahan aktif penyusun insektisida diklasifikasi beberapa kelas berdasarkan jenis insektisidanya.

Tabel 2.1 Klasifikasi Insektisida Berdasarkan Jenis Bahan Aktifnya

No.	Kelompok Insektisida			
	Anorganik	Botani	Mikroba	Sintetik
1.	Senyawa arsenik	Anabasin	Allosamidin	Organoklor
2.	Senyawa fluorida	Azadiractin	Thuringiensi	Organofosfat
3.	Boraks	Nicotin	Spinosad	Karbamat
4.	Kalsium polisufida	Pyretrin (I & II)	Avermectin	Pyretroid sintetik
5.	Tembaga oleate	Cinerin (I & II)	Milbemycin	Pengatur tumbuh serangga
6.	Merkuri klorida	Jasmolin (I & II)		Oxadiazine
7.	Kalium tiosianat	Quasia		Phthalimida
8.	Sodium tiosianat	Rotenon		Pyrazole
9.		Ryania		Pyrimidinamine
10.		Sabadilla		Pyrole
11.				Asam tetronic
12.				Thiourea
13.				Urea

(sumber: Hasibuan, 2015)

Senyawa beracun yang digunakan dalam insektisida berfungsi untuk mengendalikan dan menghilangkan hama serangga penyerang tanaman yang menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia. Meskipun memiliki dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan, namun penggunaan insektisida semakin tinggi. Hal ini didasarkan pada fakta bahwa insektisida memiliki sejumlah manfaat, seperti mudah digunakan, memberikan efek nyata dengan cepat, dan mampu menjangkau area yang luas. Dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan pestisida, memahami toksisitasnya sangat penting untuk mengoptimalkan penggunaannya sekaligus memitigasi dampak buruk (Hasibuan, 2015).

Agar insektisida dapat membunuh serangga hama secara efisien, cara masuknya, atau jalur masuknya, ke dalam tubuh organisme target mempengaruhi seberapa mematikan pestisida tersebut. Oleh karena itu, insektisida dibagi menjadi tiga kategori menurut mekanisme masuknya racun ke dalam tubuh serangga hama: (1) racun lambung (lambung); (2) racun kontak; dan (3) racun pernafasan.

Racun lambung (perut) atau *stomach poison* merupakan jenis insektisida yang cara masuknya melalui mulut bersamaan dengan makanan yang dimakan dan kemudian akan bekerja di saluran pencernaan organisme target. Tergantung pada jenis komponen aktif insektisida, racun diserap oleh dinding usus dan kemudian dipindahkan ke tempat kematian setelah pestisida dikonsumsi dan memasuki sistem pencernaannya. Racun mempunyai kemampuan untuk merusak tidak hanya sel-sel perut tetapi juga sistem saraf dan fungsi pernapasan serangga. Namun perlu dipahami, racun lambung akan bekerja apabila organisme target memakan tanaman yang telah disemprot insektisida. Namun pada prakteknya, sebagian besar bahan kimia memiliki sifat menolak (*repellent*) sehingga serangga menghindari dan tidak memakannya, atau sifat *regurgitated* yang membuat serangga hama akan memuntahkan tanaman yang telah dimakannya. Oleh karena itu, perlu diperhatikan bahan kimia pada insektisida mana yang tidak akan mempengaruhi selera makan serangga (Hasibuan, 2015)

Salah satu jenis pestisida yang menembus tubuh sasarannya melalui kulit disebut racun kontak, kadang-kadang disebut juga racun kontak. Serangga yang terkena pestisida jenis ini harus bersentuhan langsung dengannya untuk dibunuh.

Bahan kimia yang dapat melarutkan lemak atau lapisan lilin pada kutikula serangga hama diperlukan untuk insektisida jenis ini. Hal ini memungkinkan racun memasuki integumen, trachea, dan organ terkait kutikula lainnya segera setelah digunakan. Pestisida yang paling banyak tersedia di pasaran adalah racun kontak (Hasibuan, 2015).

Racun pernafasan (*fumigants*) adalah golongan insektisida yang cara masuknya melalui sistem pernafasan serangga atau trakea. Insektisida golongan ini diformulasikan sedemikian rupa sehingga memiliki bentuk partikel mikro yang melayang di udara, jika partikel ini masuk ke organ pernapasan serangga maka serangga tersebut akan mati. Kebanyakan racun pernafasan berbentuk gas, uap atau asap. Racun pernafasan ini juga dikenal sebagai *fumigan* (Hasibuan, 2015).

Selain dipengaruhi oleh cara masuknya racun ke dalam tubuh serangga, daya racun insektisida pernafasan juga dipengaruhi oleh cara kerja toksin tersebut. Umumnya cara kerja insektisida adalah dengan memberikan pengaruh di dalam tubuh serangga yang akibatnya pada kematian serangga tersebut. Pengaruh yang diberikan terhadap serangga target tidak semata-mata hanya membunuh, namun pengaruh racun tersebut pada tubuh serangga dapat menghambat pertumbuhan, perkembangan, tingkah laku, dan perkembangbiakannya. Hal ini disebabkan karena golongan insektisida jenis ini dapat mempengaruhi berbagai sistem metabolisme serangga target, seperti sistem saraf, sistem pernafasan, sistem hormon, dan sistem pencernaan (Hasibuan, 2015).

c. Insektisida Nabati

Berkembangnya ilmu pengetahuan dan pengalaman sejarah dari masa ke masa menuntun pada sebuah fakta bahwa penggunaan insektisida secara berlebihan atau penggunaan yang tidak bijaksana menimbulkan berbagai masalah yang merugikan ekonomi hingga ekologi. Berbagai masalah insektisida yang ditimbulkan adalah residu, resurgensi, resistensi, ledakan hama sekunder, perubahan status hama dari hama sekunder menjadi hama primer serta matinya predator hama (Trisyono, 2019).

Selain masalah lingkungan penggunaan insektisida sintetik yang digunakan secara berkelanjutan juga dapat berdampak negatif pada kesehatan. Dengan

pengembangan ilmu pengetahuan serta keprihatinan akan kondisi ekologis maka pengendalian hama diciptakan lebih ramah lingkungan dan aman kesehatan manusia itu sendiri. Pengendalian menggunakan bahan-bahan alami yang diambil dari berbagai tumbuhan atau yang sekarang dikenal sebagai \biopestisida/insektisida nabati (Ayu Oktasari *et al.*, 2019.).

Insektisida nabati adalah jenis insektisida yang terbuat dari bahan alami, terutama dari tumbuh-tumbuhan. Insektisida ini digunakan untuk mengendalikan atau membunuh serangga hama tanpa menggunakan bahan kimia sintetis. Insektisida nabati dianggap lebih ramah lingkungan dan umumnya memiliki efek samping yang lebih sedikit terhadap manusia, hewan peliharaan, dan organisme non-target lainnya. Berikut adalah beberapa contoh insektisida nabati dan cara kerjanya (Isnaini *et al.*, 2015).

Ada beberapa kategori untuk insektisida nabati: insektisida penolak, yang menggunakan aroma yang kuat untuk menakuti serangga; insektisida antifidan, yang mencegah serangga memakan tanaman yang disemprot dengan insektisida; Selain itu, insektisida golongan ini dapat mencegah serangga betina berkembang biak dengan berfungsi sebagai neurotoksin dan mengubah sistem hormon serangga; dan insektisida atraktan, yaitu insektisida nabati yang menarik serangga ke dalam perangkap (Andayanie *et al.*, 2019).

Pada umumnya, insektisida nabati bekerja melalui berbagai mekanisme untuk mengendalikan atau membunuh serangga hama. Mekanisme ini tergantung pada jenis bahan aktif yang terkandung dalam insektisida tersebut. Untuk melindungi tanaman dari OPT, insektisida nabati secara langsung menghentikan proses reproduksi serangga, terutama serangga betina; mereka mengurangi nafsu makan, yang menyebabkan serangga menolak makanan; mengganggu hormon serangga yang mengatur pertumbuhan, perkembangan, dan metamorfosis yang dapat menyebabkan larva gagal berganti kulit (moulting) atau menjadi dewasa yang tidak subur. Pengendaliannya dapat dilakukan dengan menggabungkan berbagai pendekatan atau hanya menggunakan satu pendekatan. (Andayanie *et al.*, 2019).

Banyak tanaman yang dapat digunakan sebagai komponen pestisida nabati telah banyak diteliti. Menurut Asmaliyah dkk. (2010), beberapa di antaranya adalah sirsak, mengkudu, jeruk, serai, nimba, kencur, akasia, belimbing wuluh, brotowali, cabai, cupa, cengkeh, duku, dan lain sebagainya. Senyawa dalam tanaman ini mempunyai khasiat untuk mengusir atau membasmi beberapa jenis serangga, termasuk kutu beras (*Sitophilus oryzae* L.), masalah yang banyak ditemukan di gudang.

Tanaman tertentu, seperti tanaman mengkudu, memiliki komponen kimia yang dapat membunuh berbagai hama sehingga berguna sebagai insektisida alami. Berbagai zat kimia metabolit sekunder, antara lain antrakuinon, alkaloid (xeronine dan proxeronine), saponin, tanin, dan glikosida, banyak ditemukan pada tanaman mengkudu, terutama pada buahnya. Menurut Sogandi dan Rabima (2019), alkaloid dan glikosida merupakan zat berbahaya yang menyebabkan gangguan sistem pencernaan.

3. Lalat Buah (*Bactrocera* sp.)



Gambar 2.6 Lalat buah

(Sumber : Sitadianiputri.com, 2020)

Lalat buah merupakan hama serangga yang menyerang tanaman komoditas hortikultura, terutama komoditas buah dan sayuran. Lalat buah (*Bactrocera* sp.) tercatat telah menyerang lebih dari seratus jenis tanaman hortikultura bahkan menjadi musuh besar para petani buah dan sayur di seluruh penjuru dunia. Kerugian kuantitatif yang disebabkan oleh serangan lalat buah ini mempengaruhi penurunan jumlah hasil

panen hingga gagal panen. Sedangkan kerugian kualitatif yang ditimbulkan oleh lalat buah sangat berdampak pada kualitas buah, terutama ketika buah menjadi busuk akibat infeksi bakteri sekunder. Selain itu, membusuknya daging buah disebabkan oleh aktivitas larva lalat buah sehingga buah jatuh sebelum mencapai kematangan (Betty, 2019).

Terdapat 8 spesies lalat buah yang berstatus hama penting di Indonesia. Pada tahun 1975 salah satu spesies lalat buah yaitu *Bactrocera carambolae* ditemukan di Suriname, yang terbawa dari Indonesia oleh para pelancong atau pedagang. Norrbom (USDA) yang awalnya mengenali spesies ini sebagai *Bactrocera dorsalis* atau "*Oriental Fruit Fly*". Namun Drew dan Hancock mendeskripsikan spesies tersebut merupakan *Bactrocera carambolae* setelah dideterminasi ulang dan tidak menandakan dekat dengan "dorsalis Malaysia A". Pasalnya di Indonesia tidak ditemukan *B. dorsalis* (Hendel) melainkan spesies *B. carambolae* yang ditemukan (Drew dan Hancock, 1994).

Bactrocera sp. tersebar di Kepulauan Andaman, Thailand Selatan, Vietnam Selatan, Semenanjung Malaysia, Malaysia Timur dan Indonesia (Drew & Hancock, 2022). Di Indonesia *Bactrocera sp.* tersebar beberapa pulau besar, seperti Jawa, Kalimantan, Lombok, dan Sumbawa bagian Timur (Siwi, 2006). Selain itu *Bactrocera sp.* adventif di beberapa wilayah tertentu, seperti di Guyana Perancis, Guyana, Suriname dan NE Brazil. Baru-baru ini tercatat di Kamboja dan Bangladesh (Leblanc, 2019).

Ada dua faktor yang mempengaruhi populasi lalat buah: ketersediaan buah sebagai inang dan peran musuh alami. Warna dan aroma buah inang menentukan aktivitas lalat buah dalam menemukan tanaman inang. Semakin banyak inang cabai merah yang dapat ditemukan di lahan, semakin banyak lalat buah yang dapat ditemukan di tanaman. Ini karena lalat buah menemukan inang buah atau sayuran dengan menggunakan isyarat kimia dan visual (Sunarto, 2011). Selain itu, populasi lalat buah di lahan dipengaruhi oleh musuh alami seperti predator dan parasitoid. Umur tanaman dan populasi inang lokal mempengaruhi populasi musuh alami. Jumlah

parasitoid meningkat seiring dengan ketersediaan lalat buah, yang mengakibatkan peningkatan populasi musuh alami lalat buah (Herlinda dkk., 2007).

Tanaman belimbing (*Averrhoa carambola*) adalah inang favorit *Bactrocera carambolae* dan menjadi hama penting pada tanaman tersebut. Namun, selain *Bactrocera carambolae* spesies lainnya seperti *B. dorsalis* Hendel, *B. cucurbitae*, dan *B. albistrigata* menjadikan buah belimbing sebagai inang mereka. Serangan *Bactrocera carambolae* ditandai dengan bintik-bintik kecil hitam pada kulit buah akibat *B. carambolae* betina dewasa yang menusukan telur-telurnya ke dalam daging buah. Kerusakan buah selanjutnya disebabkan oleh larva *B. carambolae* yang memakan daging buah langsung setelah mereka menetas. Lama kelamaan buah akan busuk dan gugur sebelum mencapai kematangannya dan menyebabkan penurunan produksi buah (Kartika, 2023).

a. Klasifikasi dan Morfologi Lalat Buah

Menurut Drew dan Hancock (1994), klasifikasi lalat buah belimbing adalah sebagai berikut:

Filum	: Arthropoda
SubFilum	: Atelocerata
Kelas	: Insecta
Sub Kelas	: Pterygota
Ordo	: Diptera
Sub Ordo	: Brachycera
Famili	: Tephritidae
Sub famili	: Dacinae
Genus	: <i>Bactrocera</i> (Drew dan Hancock, 1994)

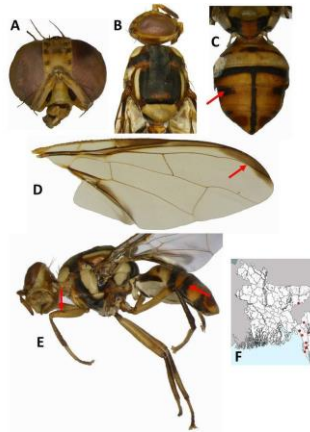
Sekitar 750 spesies dari genus besar *Bactrocera* ditemukan di Asia Tenggara (termasuk anak benua India) dan Pasifik, serta secara lemah di Afrotropik (Drew & Romig, 2022). Sedangkan di Indonesia, terdapat 89 spesies lalat buah yang diketahui memangsa buah-buahan dan tanaman hortikultura. Pulau Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara, dan Irian Jaya merupakan rumah bagi spesies lalat buah ini (Muryati *et al.*, 2007).

Pada ketinggian 700-1.700 meter di atas permukaan laut, lalat buah dapat ditemukan (Nismah dan Susilo, 2008). Delapan spesies lalat buah, yaitu *Bactrocera albistrigata*, *B. carambolae*, *B. papaya*, *B. umbrosa*, *B. dorsalis*, *B. cucurbitae*, *B. tau*, dan *B. caudata*, telah diidentifikasi sebagai hama tanaman yang penting (Kuswadi, 2001; Muryati *et al.*, 2007).

Bactrocera sp. memiliki thoraks yang berwarna dominan hitam suram dan terdapat lateral postsutural vitae atau garis di sisi lateral berwarna kuning yang panjangnya dari notopleuron hingga katepisternum, namun tidak terdapat medial postsutural vittae. Klik di sini untuk memasukkan teks. Pada front terdapat sepasang bintik hitam oval berukuran sedang yang memenuhi bagian wajah atau disebut dengan facial spot. (Wiratama M *et al.*, 2017).

Terdapat costal band tipis warna hitam kemerahan pada sayap yang tumpang tindih dengan R2+3 dan sedikit melebar melewati puncak vena juga melintasi puncak R4+5 yang berbentuk seperti pancing. Pada sayap juga terdapat garis anal fuscous yang sempit. Abdomen terga III-V memiliki warna oranye coklat dengan bentuk pola 'T' gelap yang terdiri dari pita melintang sempit yang melintasi tepi anterior tergam III dan melebar hingga menutupi tepi lateral, pita medial longitudinal berukuran sedang melewati tiga tergal dengan bentuk pola persegi panjang gelap di sudut anterolateral tergam IV, sudut anterolateral tergam V fuscous berwarna hitam sedangkan ceromata pada tergam V memiliki warna oranye coklat, dan sterna perut fuscous memiliki warna gelap hingga hitam. (Drew & Hancock, 2022).

Tungkai *Bactrocera sp.* terdapat bintik gelap preapikal besar di permukaan luar femora depan, tibiae fuscous berwarna coklat kecuali tibia tengah yang lebih pucat pada bagian apical lobes, juga terdapat dua pita kuning lebar dengan bentuk paralel di kedua sisi lateral yang berakhir tepat atau dibelakang setae, dan skutelum berwarna kuning (Wiratama *et al.*, 2017).



Gambar 2.7 *Bactrocera carambolae* Drew dan Hancock, jantan. A) kepala tampak depan. B) Kepala dan scutum. C) Perut. D) Sayap. E) Tampak samping. F) Distribusi di Bangladesh.

(sumber : Lenbanc *et al.*, 2021)

b. Siklus Hidup Lalat Buah

Fase hidup *Bactrocera sp.* adalah kelompok hewan holometabola yang fase hidupnya dimulai dari telur, larva, pupa kemudian imago atau lalat buah dewasa. Metamorfosis yang dialami *Bactrocera sp.* dengan melalui beberapa proses perubahan bentuk tubuh, penampilan dan perilaku yang berbeda sepanjang perkembangannya menuju fase dewasa. Fase ini juga sering dikenal dengan fase metamorfosis sempurna.

1) Telur

Bactrocera sp. betina dapat bertelur 1200 hingga 1500 telur sepanjang hidupnya di habitatnya, sedangkan dalam laboratorium mereka dapat bertelur sebanyak 1000–3000 telur (Danjuma *et al.*, 2021). Telur lalat buah berbentuk elips berukuran sekitar 2 mm, hampir rata di ujung perut, dan cekung di ujung punggung. Ujung putih telurnya runcing dan panjang. Di dalam buah, koloni telur disimpan. Setelah dimasukkan ke dalam buah, telur akan menetas menjadi larva dalam waktu dua hari (Siwi *et al.*, 2006).



Gambar 2.8 Lalat Buah sedang Menyuntikan Telur

(Sumber :UrbanHydroponi.com/c, 2016)

2) Larva

Larva pada instar ketiga berukuran sedang, berbentuk elips, dan memiliki ujung runcing tunggal. Warnanya putih kekuningan atau kabur, dan mereka memiliki dua bercak hitam berbeda di punggungnya yang berfungsi sebagai pengait mulut. Tergantung pada suhu dan kondisi inangnya, larva mengalami tiga tahap perkembangan berbeda di dalam daging selama enam hingga sembilan hari. Larva muncul dari daging buah pada instar ketiga dan turun ke permukaan tanah, kemudian menjadi kepompong (Djatmiadi & Djatnika, 2001). Kelangsungan hidup larva di dalam tanah dipengaruhi oleh kadar air dan tekstur tanah (Dhillon *et al.*, 2005).



Gambar 2.9 Larva Lalat Buah

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

3) Pupa

Pupa mula-mula berwarna putih, kemudian menjadi coklat kemerahan. Kematangan pupa bergantung pada kelembaban tanah. Tahap kepompong berhubungan dengan kelembaban tanah 0-9%. Perkembangan pupa terjadi dalam empat sampai sepuluh hari. Pupa terletak dua hingga tiga sentimeter di bawah permukaan tanah. Setelah 13–16 hari, pupa berkembang menjadi imago (Djatmiadi & Djatnika, 2001).

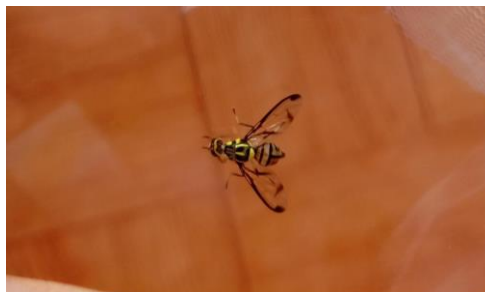


Gambar 2.10 Pupa Lalat Buah

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

4) Imago

Lalat dewasa memiliki panjang tubuh 3,5–5 mm dan warna hitam pekat. Kaki dan kepala keduanya berwarna coklat. Betina memiliki alat penusuk, jantan memiliki perut bulat, dan dada berwarna hitam. Dari telur hingga dewasa, siklus hidup lalat buah memerlukan waktu sekitar 27 hari (Siwi, 2005).



Gambar 2.11 Lalat Buah Imago

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

c. Perkembangan Lalat Buah

Siklus hidup lalat buah terdiri dari empat tahap: telur, larva, pupa, dan imago. Telur-telur ini sering disimpan pada buah yang permukaannya kasar dan lembut, terlindung dari sinar matahari, dan disimpan di lingkungan sejuk dan kering (Ditlin Horticulture, 2006). Larva memakan daging buah dan berkembang di sana. Larva muncul dari buah melalui lubang kecil, turun ke permukaan bumi, dan kemudian masuk ke dalam tanah saat mendekati pupa. Apabila masuk ke dalam tanah akan berubah menjadi pupa (Djatmiadi & Djatnika, 2001).

Sinar matahari berdampak terhadap pertumbuhan lalat buah. Telur yang dibiarkan di bawah sinar matahari tidak akan menetas. Dua puluh enam derajat Celcius merupakan suhu ideal bagi pertumbuhan lalat buah. Di alam liar, lalat buah adalah makhluk yang sibuk dan hidup bebas. Lalat buah jantan aktif dan mengejar lalat betina untuk bersanggama, sedangkan lalat betina sering hinggap pada tanaman buah dan sayur pada pagi dan sore hari.

Lalat buah jantan akan memikat calon pasangannya dengan menggunakan feromon, kilatan warna tubuh, dan pita atau bintik pada sayap. Lalat buah merupakan serangga yang tangguh karena kemampuannya menempuh jarak 4–15 kilometer dalam satu waktu, bergantung pada arah dan kecepatan angin. Buah merupakan sumber nutrisi lalat buah dewasa. Jenis dan jumlah buah yang dikonsumsi lalat buah menentukan jumlah lalat buah yang ada di setiap lahan. Lalat buah akan semakin banyak jumlahnya dan beragam jumlahnya apabila semakin banyak jenis dan jumlah buah yang ada di suatu lahan (Nismah & Susilo, 2008).

d. Gejala Seranga Lalat Buah



Gambar 2.12 Gejala buah yang diserang lalat buah

(Sumber :UrbanHidroponik.com/ 2016)

Selain buah, komponen bagian tumbuhan lainnya tidak dirugikan oleh serangan lalat buah. Biasanya, buah merupakan tempat lalat buah menyimpan telurnya. Buah yang sudah terinfeksi pada umumnya mempunyai lubang kecil di tengah kulitnya. Buah yang hampir masak merupakan sasaran serangan lalat buah yang paling sering. Indikasi pertama bahwa ada sesuatu yang tidak beres adalah ovipositor lalat betina membuat tusukan pada buah ketika ia bertelur. Dengan menggunakan ovipositor, lalat buah betina menusuk telurnya hingga 6 mm di bawah permukaan. Selain itu, noda bertambah dan menyebar karena aktivitas larva di dalam buah. Banyak buah yang akhirnya terjatuh karena serangan ini. Buah yang berdaging lembut dan berkulit tipis adalah sasaran lalat buah ini (Wijaya *et al.*, 2018).

Serangan lalat buah ini sering terjadi pada buah yang hampir masak, di mana daging buah membusuk dan terdapat ratusan larva. Stadium lalat buah yang paling merusak adalah stadium larva, ini dikarenakan larva yang memakan daging buah tersebut (Suputa *et al.*, 2006). Belatung kecil atau larva lalat buah terlihat ketika daging buah dibelah. Perubahan warna pada daging buah akan terlihat jelas, dan bagian yang terserang oleh lalat buah menjadi lunak kemudian buah akan gugur sebelum masak (Holis *et al.*, 2023) Menurut Depatan (2007), buah yang gugur dapat menyebabkan infeksi atau pertumbuhan lalat pada generasi berikutnya jika tidak segera dikumpulkan atau dimusnahkan. Satu spesies lalat buah tidak hanya menyerang satu jenis buah melanin menyerang berbagai jenis tanaman buah lainnya (Wijaya *et al.*, 2018).

Menurut Astriyani *et al.* (2016) meningkatnya jumlah lalat buah di tanaman jeruk dapat dikaitkan dengan peningkatan persentase serangan lalat buah. Perkembangan fase pematangan buah memengaruhi peningkatan populasi lalat buah tersebut. Serangan lalat buah biasanya terjadi ketika buah jeruk mulai menguning. Lalat buah tertarik dan akan terangsang pada warna kuning. Ketika buah mendekati masa kematangan dan warna kuning mulai tampak, lalat buah betina tertarik untuk bertelur di buah tersebut. Selain warna kuning yang menarik lalat buah untuk bertelur, aroma yang dikeluarkan oleh buah dapat sangat menarik lalat buah.

Dalam bukunya Siwi (2005) mengatakan bahwa kandungan nutrisi pada buah berdasarkan tingkat kematangannya juga sangat mempengaruhi lalat buah betina untuk bertelur. Hal ini dikarenakan makanan utama yang dapat memperpanjang umur dan meningkatkan kesuburan lalat buah adalah buah-buahan yang mengandung nutrisi antara lain asam amino, vitamin, mineral, air, dan karbohidrat.

Terdapat korelasi yang jelas antara jumlah lalat buah di lahan dan tingkat serangan, yang sangat bervariasi. Menurut Pujiastuti (2007), peningkatan jumlah penduduk akan mengakibatkan angka serangan semakin tinggi, sedangkan penurunan jumlah penduduk akan menyebabkan angka serangan menurun. Berdasarkan temuan penelitian Holis dkk., (2023), enam spesies lalat buah *B. dorsalis*, *B. kandiensis*, *B. carambolae*, *B. Correcta*, *B. musae*, dan *B. umbrosa* memiliki intensitas serangan yang berkisar dari rendah hingga tinggi pada skala 1-2.

Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Wijaya *et al.* pada tahun 2018 kerusakan buah jeruk akibat serangan lalat buah di pertanaman jeruk termasuk kategori sedang. Namun, kerugian akibat serangan lalat mencapai Rp.29.468.750 perhektar. Ini menunjukkan sekecil apapun kerusakan buah oleh lalat buah tetap dapat merugikan ekonomi para petani, maka dari itu diperlukan adanya pengendalian untuk menekan populasi lalat buah.

e. Pengendalian Lalat Buah

Upaya pengendalian fisik seperti membungkus buah belimbing dengan kantong plastik ini berhasil mengurangi kerusakan buah yang disebabkan oleh lalat

betina. Selain itu, penggunaan perangkap metil euganol dalam pengendalian hama penting ini juga efektif dalam menurunkan populasi lalat buah. Namun, pengendalian ini akan memerlukan banyak tenaga, selain itu pengendalian ini tidak dapat dilakukan untuk lokasi yang luas secara terus-menerus.

Insektisida yang bersifat sintetik merupakan pilihan terbaik untuk mengendalikan *Bactrocera* sp. Insektisida sintetik adalah bahan yang mengandung senyawa beracun yang digunakan untuk mengendalikan serangga hama yang merugikan tanaman. Bahan kimia tersebut menyebabkan fungsi fisiologis organisme target terganggu, yang pada akhirnya menyebabkan kematian.

Penggunaan pestisida sintetik yang berlebihan dapat menyebabkan sejumlah dampak buruk terhadap ekosistem, termasuk kematian hama predator, meningkatnya resistensi hama, dan kontaminasi udara dan tanah. Penggunaan bahan kimia dari insektisida harus dikurangi semaksimal mungkin. Salah satu caranya adalah dengan beralih ke bahan yang lebih ramah lingkungan, termasuk insektisida nabati yang memanfaatkan unsur tumbuhan alami (Andayanie *et al.*, 2019).

Insektisida yang tergolong tumbuhan mempunyai komponen aktif yang berasal dari tanaman atau tumbuhan yang digabungkan dengan unsur organik lainnya. Karena tidak mengandung bahan kimia beracun yang dapat membunuh semua serangga baik yang berbahaya maupun yang bermanfaat, seperti penyerbuk pestisida nabati ini tidak berbahaya bagi lingkungan.

B. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Chandra Pratiwa, Farah Diba, dan Wahdina pada tahun 2015 yang berjudul “Bioaktivitas Ekstrak Etanol Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) Terhadap Rayap Tanah (*Coptotermes curvignathus* Holmgren)” didapatkan hasil bahwa ekstrak buah Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) memiliki daya racun yang mampu membunuh rayap tanah (*Coptotermes curvignathus* Holmgren) dengan tingkat mortalitas 96% menggunakan konsentrasi ekstrak 8%. Mereka juga mengemukakan jika semakin besar konsentrasi ekstrak yang diberikan pada kertas uji maka nilai mortalitas rayap akan semakin tinggi (Pratiwa & Diba, 2015).

Penelitian lainnya yang membahas mengenai ekstrak buah mengkudu sebagai pengendali hama yaitu “Efektivitas Ekstrak Buah *Morinda citrifolia* L. Terhadap Pengendalian Kutu Daun *Aphis gossypii* Pada Tanaman *Capsicum frutescens* Linn. Untuk Panduan Praktikum Fisiologi Tumbuhan” oleh Sucy Nurani yang diterbitkan pada tahun 2022. Dari penelitian tersebut didapatkan informasi bahwa ekstrak buah mengkudu untuk penelitian terhadap perkembangan *Aphis gossypii* berpengaruh tinggi terhadap jumlah *Aphis gossypii* yang setiap harinya semakin berkurang (Putri & Azwar, 2022)

Serupa dengan penelitian sebelumnya, penelitian yang dilakukan pada tahun 2022 dengan judul “Potensi Buah Mengkudu, *Morinda citrifolia* L. sebagai Insektisida Nabati dalam Mengendalikan Hama *Spodoptera litura* F. pada Tanaman Kubis, *Brassicae oleracea* L. di Kota Tomohon” oleh Brigita Anes, Jusuf Manueke dan Bernadeth V. Montong menyimpulkan bahwa ekstrak buah mengkudu berpengaruh terhadap larva *S. litura* pada tanaman kubis dan dapat dijadikan sebagai insektisida nabati. Mortalitas yang didapatkan sebesar 50,00% pada konsentrasi 70,00%, kemudian mortalitas paling rendah sebesar 22,50% pada konsentrasi 40,00% (Anes et al., 2022)

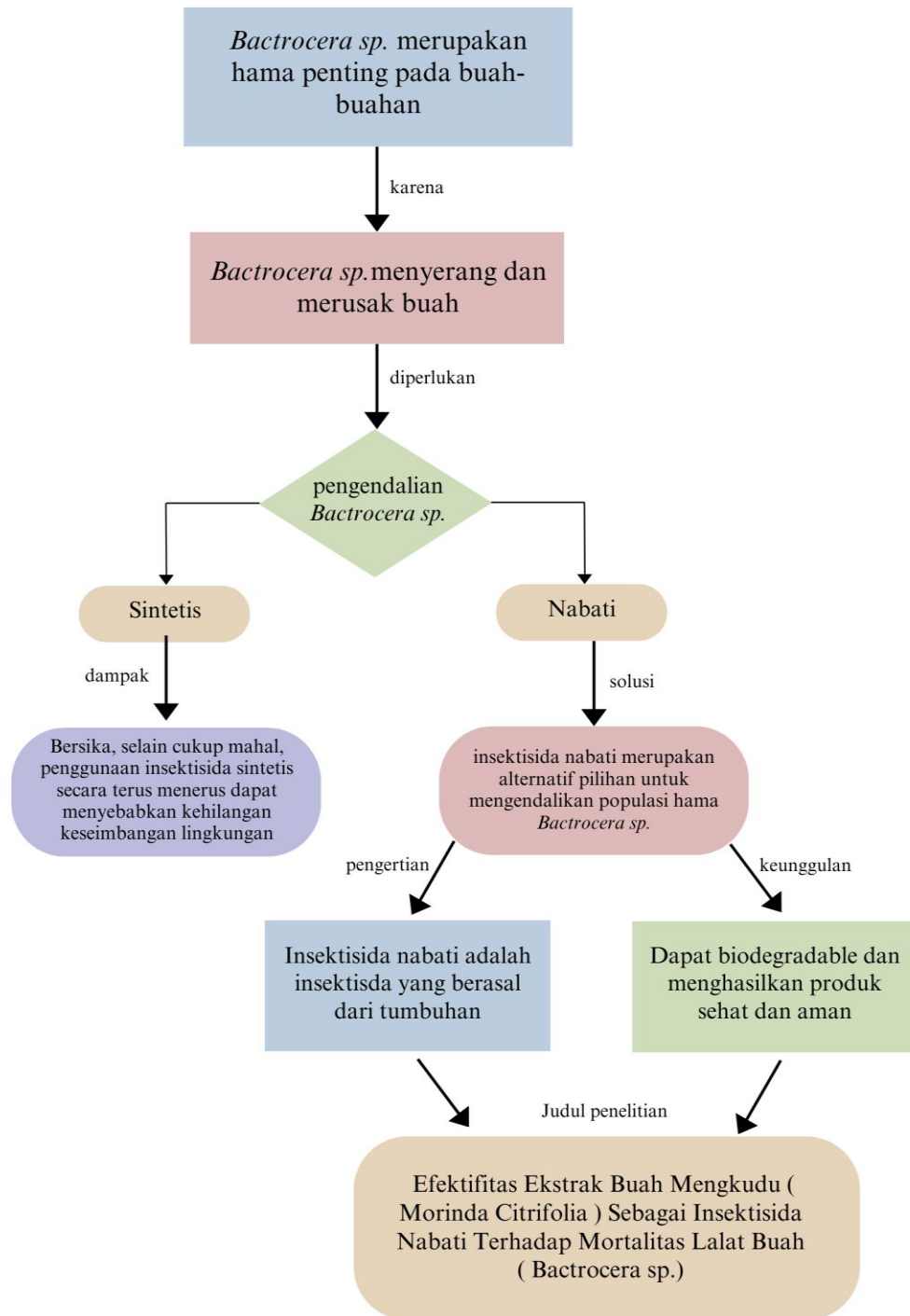
Penelitian pada tahun 2021 dengan judul “Efektifitas Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) sebagai Pestisida Nabati untuk Pengendalian Mencit (*Mus musculus*)” yang dilakukan oleh Agnes Verawati Putri, Hajimi Hajimi, Zainal Akhmad mendapatkan hasil penelitian bahwa kematian total mencit pada dosis 55%.

C. Kerangka Pemikiran

Bactrocera sp. menjadi permasalahan yang cukup besar dalam bidang pertanian hortikultura khususnya pertanian buah-buahan. Keberadaan hama ini yang tidak mudah dikendalikan terutama ketika keadaan cuaca dan iklim yang terus berfluktuasi sulit untuk diperkirakan. Serangan lalat buah ini sering ditemukan pada buah yang hampir matang, akibatnya buah menjadi busuk dan gugur sebelum waktu kematangannya tiba. Hal tersebut berdampak pada penurunan produksi buah dan kualitas buah yang terdapat banyak cacat.

Pestisida kimia menjadi pilihan satu-satunya yang paling efektif menurut sebagian besar para petani untuk mengendalikan lalat buah. Sedangkan pestisida sintesis mempunyai dampak negatif pada lingkungan dan ekosistem perkebunan digunakan secara berlebihan dan berkepanjangan. Alternatif lainnya untuk mengendalikan *Bactrocera sp.* adalah penggunaan insektisida nabati. Insektisida nabati adalah insektisida dengan bahan aktifnya berasal dari tanaman atau tumbuhan dan bahan organik lainnya. Insektisida nabati ini ramah lingkungan karena tidak memiliki bahan-bahan kimia bersifat racun yang dapat membunuh semua serangga baik yang merugikan maupun yang menguntungkan misalnya serangga penyerbuk.

Ekstrak buah mengkudu memiliki senyawa metabolit yang dapat mengendalikan hama, salah satunya senyawa antrakuinon yang dapat dimanfaatkan untuk mengganggu sistem pencernaan serangga. Pada penelitian terdahulu ekstrak buah mengkudu banyak diteliti sebagai biopestisida terhadap beberapa hama. Untuk mengetahui efektifitas ekstrak buah mengkudu sebagai insektisida nabati terhadap *Bactrocera carambolae*, maka perlu dilakukan uji coba dan menganalisis mortalitas *Bactrocera sp.* setelah ekstrak diaplikasikan.



Gambar 2.3 Kerangka penelitian efektifitas ekstrak buah mengkudu terhadap mortalitas lalat buah

D. Hipotesis

H₀ : Tidak terdapat pengaruh ekstrak buah mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) terhadap mortalitas *Bactrocera* sp.

H_a : Terdapat pengaruh ekstrak buah mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) terhadap mortalitas *Bactrocera* sp.