

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Telaah Pustaka**

##### **1. Rayap**

Rayap merupakan salah satu serangga yang banyak dikenal masyarakat umum sebagai serangga perusak. Rayap berperan dalam sistem ekologi, selain itu rayap dapat menimbulkan kerugian ekonomi. Peranan rayap dalam ekosistem berpengaruh besar terhadap struktur fisik dan kandungan kimia tanah, proses dekomposisi tanaman, siklus nitrogen dan karbon, serta aktivitas mikroba (Holt & Lepage, 2000). Aktivitas rayap yang memakan kayu maupun sesuatu yang mengandung selulosa, terutama kayu pada bangunan dan konstruksi lainnya dapat merugikan manusia secara ekonomis.

Rayap sebagai dekomposer (pengurai) memiliki kemampuan dekomposisi atau merubah bahan organik yang telah mati menjadi senyawa CO<sub>2</sub> (karbondioksida) dan H<sub>2</sub>O (air). Proses dekomposisi serasah daun di dalam ekosistem hutan tropis 50% dilakukan oleh rayap (Brauman, 2000). Organisme pengurai berperan penting dalam suatu ekosistem, tanpa pengurai sisa-sisa material yang ada di bumi akan menumpuk dan tidak akan bisa terurai. Rayap juga berperan dalam siklus hara dan membantu proses pembentukan tanah (Lee & Wood, 1971). Sarang rayap mampu memberikan keberagaman substrat dengan mengubah sifat tanah, sehingga tanah lebih subur dan meningkatkan pertumbuhan tanaman (Bonachela dkk., 2015).

Keterlibatan rayap sebagai dekomposer (pengurai) organisme yang telah mati memberikan manfaat lain bagi ekosistem, diantaranya yaitu:

a. Perbaiki sifat tanah

Aktivitas rayap dalam mencari makan (*foraging*) dan memakan substrat (*feeding*) dilakukan dengan cara menggali tanah dan membuat terowongan atau sarang sebagai tempat berlindung dari paparan sinar matahari selama aktivitas pencarian makanan berlangsung. Aktivitas Pembangunan gundukan dan konstruksi sarang rayap di dalam dan di atas tanah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap struktur dan komposisi tanah. Proses modifikasi tanah yang disebabkan oleh rayap meliputi, (1) pemindahan tanah di bawah permukaan ke permukaan, (2) struktur mikro, dan (3) pembuatan sarang di bawah permukaan tanah (Lal, 1987).

Rayap spesies *Coptotermes* memiliki kemampuan unik dalam proses pembuatan sarang yaitu dapat membangun bahan 'karton' sebagai sarang serta menutupi lubang atau celah yang ada di permukaan tanah. Bangunan karton ini mampu menjaga kelembaban tanah, sehingga rayap mampu bertahan hidup selama masa foraging. Aktivitas pembuatan sarang dengan penggalian tersebut secara tidak langsung memengaruhi perubahan sifat fisik pada tanah, seperti aerasi tanah, struktur tanah serta tekstur tanah (Noirot & Darlington, 2000).

Rayap mengubah selulosa menjadi senyawa yang lebih sederhana untuk diserap tubuh selama proses feeding. Rayap menyerap sebagian hasil penguraian, sedangkan senyawa yang tidak terserap oleh tubuh rayap akan dikeluarkan ke lingkungan sebagai feces dan urin. Hasil dekomposisi yang dikeluarkan akan bercampur dengan tanah dan saliva rayap, sehingga menghasilkan sesuatu yang disebut dengan biogenik. Biogenik memiliki kandungan yang berbeda dengan sifat kimia tanah yang asli serta berpengaruh terhadap mikroporositas tanah, kapasitas penyimpanan kelembaban dan laju infiltrasi pada tanah (Kooyman & Onck, 1987).

b. Peningkatan produktivitas agro-ekosistem

Biogenik yang merupakan percampuran hasil dekomposisi rayap, tanah serta saliva rayap memiliki kadar kimia yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah asli. Penelitian menunjukkan bahwa material sarang rayap mengandung konsentrasi kation yang lebih tinggi, yaitu Ca, Mg, Na dan K dibandingkan dengan tanah tanpa sarang rayap (Lobry de Bruyn & Conacher, 1995).

c. Mikrohabitat bagi organisme lainnya

Sarang dan terowongan yang dibuat oleh rayap akan ditinggalkan ketika makanan sudah tidak lagi tersedia. Sarang yang telah ditinggalkan tersebut dapat menjadi tempat tinggal bagi berbagai organisme kecil lainnya sehingga mampu memperkaya keanekaragaman hayati di tempat tersebut (Holt & Lepage, 2000).

Berdasarkan kelompok makanannya, rayap diklasifikasikan menjadi beberapa tipe yaitu pemakan tanah, pemakan permukaan tanah atau kayu, pemakan kayu, pemakan serasah, pemakan tumbuhan epifit, pemakan rumput dan beberapa kelompok pemakan kecil yang lainnya (Collins, 1984). Rayap pemakan tanah (*Soil feeder*) rayap yang mendapatkan makanan dari tanah yang mengandung banyak bahan organik. Rayap pemakan kayu mati (*Wood-soil interface feeder*) memakan kayu yang berada pada permukaan tanah atau akar pohon mati. Rayap kayu (*Wood feeder*) pohon hidup ataupun kayu yang telah mati serta cabang-cabang yang mati yang masih melekat pada pohon (Inoue dkk., 2001).

Berdasarkan habitatnya, rayap dikelompokkan menjadi 3 kategori umum, yaitu (1) rayap tanah (*Subterranean Termite*) biasanya memiliki kehidupan koloni di dalam tanah dan di dalam kayu yang bersentuhan langsung dengan tanah (Thorne, 1998); (2) rayap kayu kering (*Dry Wood Termite*) yang hidup sepenuhnya di dalam kayu, baik bersarang maupun mencari makan karena rayap ini dapat tumbuh di lingkungan dengan kadar air yang rendah (Myles dkk., 2007); (3) rayap kayu basah (*Damp Wood Termite*) yang hidup di dalam kayu dengan berbagai tingkat pembusukan dan memiliki kadar air yang cukup di dalamnya (Baker & Marchosky, 2005).

## 2. Taksonomi Rayap

*Kingdom* : *Animalia*

*Phylum* : *Antropoda*

*Class* : *Insecta*

*Order* : *Isoptera*

*Family* : *Rhinotermitidae*

*Genus* : *Coptotermes*

*Species* : *Coptotermes Curvignatus* (GBIF Secretariat, 2023)

### 3. Morfologi dan Fisiologi Rayap

Rayap merupakan insekta dengan ciri-ciri tubuh terbagi menjadi tiga bagian yaitu kepala, thoraks, dan abdomen. Rayap memiliki tubuh lunak dengan warna tubuh terang. Bagian kepala dari rayap memiliki sepasang matang oceli, sepasang antenna moniliform dan sepasang maksila (*maxillae*) yang berfungsi mendeteksi lingkungan, sepasang mandibula (*mandible*), labrum (bibir atas) dan labium (bibir bawah) untuk kegiatan makan. Pada bagian thoraks rayap terdiri atas tiga bagian yaitu pronotum, mesonotum, serta metanotum yang terdapat sepasang kaki pada masing-masing bagian tersebut. Abdomen rayap terdiri atas 10 segmen, pada segmen terakhir terdapat secus (Krishna dkk., 2013).

Rayap termasuk ke dalam ordo isoptera yang secara bahasa, iso berarti sama dan ptera berarti sayap-sayap. Sesuai dengan Namanya, rayap pada kasta reproduktif memiliki sayap berjumlah empat dan berselaput tipis. Antara sayap depan dan belakang memiliki ukuran yang hampir sama. Rayap yang memiliki sayap disebut dengan laron. Laron merupakan calon raja dan ratu yang terbang meninggalkan sarang untuk membentuk koloni

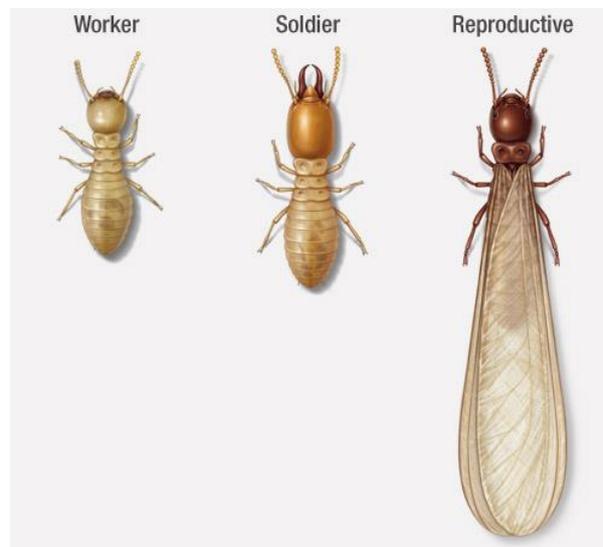
baru. Rayap juga memiliki sungut-sungut yang berbentuk untaian seperti merjan atau berbentuk serabut (Borror dkk., 1992).

Kepala pada kasta prajurit mengalami sklerisasi serta memiliki mandibula yang menjulur hingga mencapai setengah panjang kapsul kepala dan berfungsi sebagai pertahanan koloni. Mandibula pada setiap spesies rayap memiliki perbedaan. Modifikasi mandibula atau nasus mengakibatkan rayap kasta prajurit tidak mampu mencari makan sendiri dan hanya mengandalkan trofalaksis dengan rayap pekerja. Mandibula pada rayap kasta pekerja tidak mengalami modifikasi sehingga memungkinkan untuk mencari makanan (Krishna dkk., 2013).

Mulut rayap kasta pekerja merupakan mulut tipe pengunyah, biasanya berbentuk trapezoidal atau segitiga dengan satu gigi atau lebih (Krishna dkk., 2013). Mulut tipe pengunyah ini digunakan untuk mencari makanan, karena fungsi tersebut sehingga rayap terkenal menyebabkan kerusakan (Arif, 2020). Saat makan sesuatu yang mengandung selulosa, proses penguraian makanan dalam saluran pencernaan rayap tidak dilakukan sendiri melainkan dibantu oleh simbion. Proses awal dimulai dengan pencabikan kayu atau bahan organik lainnya secara mekanik menjadi fragmen kecil. Fragmen kecil selanjutnya melewati saluran pencernaan sampai pada bagian usus belakang rayap. Usus belakang rayap terdapat protozoa flagellata yang membantu proses dekomposisi fragmen kayu menjadi senyawa yang lebih sederhana dan mampu diserap rayap sebagai energi (Brugerolle & Radek, 2006). Apabila seekor rayap diambil *flagellata*

pada tubuhnya, maka rayap masih dapat meneruskan makan namun akan mati kemudian, karena rayap tidak mampu mencerna makanan tersebut. Rayap-rayap dengan *flagellate* memiliki hubungan simbiosis mutualisme atau hubungan yang saling menguntungkan (Borror dkk., 1992). Beberapa jenis rayap, selain *flagellate* ditemukan pula simbion lain berupa bakteri dan beberapa famili rayap diketahui sengaja menumbuhkan jamur di dalam sarang untuk memenuhi nutrisi lain yang tidak mampu terpenuhi oleh rayap sendiri (Traniello & Leuthold, 2000).

Sistem pencernaan pada rayap memiliki beberapa kesamaan dengan sistem pencernaan kecoa. Serangga pemakan makanan keras memiliki saluran pencernaan yang besar, lurus dan pendek dengan perototan yang kuat dan sistem pencernaan terlindung, serta memiliki proventrikulus yang memiliki fungsi sebagai penghancur makanan menjadi partikel yang lebih kecil sebelum masuk ke dalam usus untuk pencernaan lebih lanjut. Rayap dan kecoa juga sama-sama memiliki simbion atau mikroorganisme yang hidup dalam tubuh serangga untuk membantu mensintesis atau metabolisme sterol, vitamin, karbohidrat atau asam amino (Busnia, 2006).



Gambar 1. Rayap Berdasarkan Kasta

#### 4. Siklus Hidup Rayap

Perkembangan koloni rayap dimulai dari rayap reproduktif (laron) yang telah mencapai tahap dewasa secara fisik dan seksual keluar dari sarangnya untuk mencari pasangan, setelah bertemu pasangan rayap akan menjadi raja dan ratu pada koloni baru. Ratu rayap akan meletakkan kumpulan telur pertama dalam beberapa hari atau minggu setelah berkopulasi. Raja dan ratu rayap akan merawat kumpulan telur pertama (Krishna, 1969), ketika mulai menetas anak-anak rayap pertama akan merawat telur-tekur selanjutnya. Pertumbuhan koloni akan terjadi lambat pada awal pembentukan, namun kapasitas bertelur ratu dan laju pertumbuhan koloni akan meningkat(Suiter dkk., 2003).

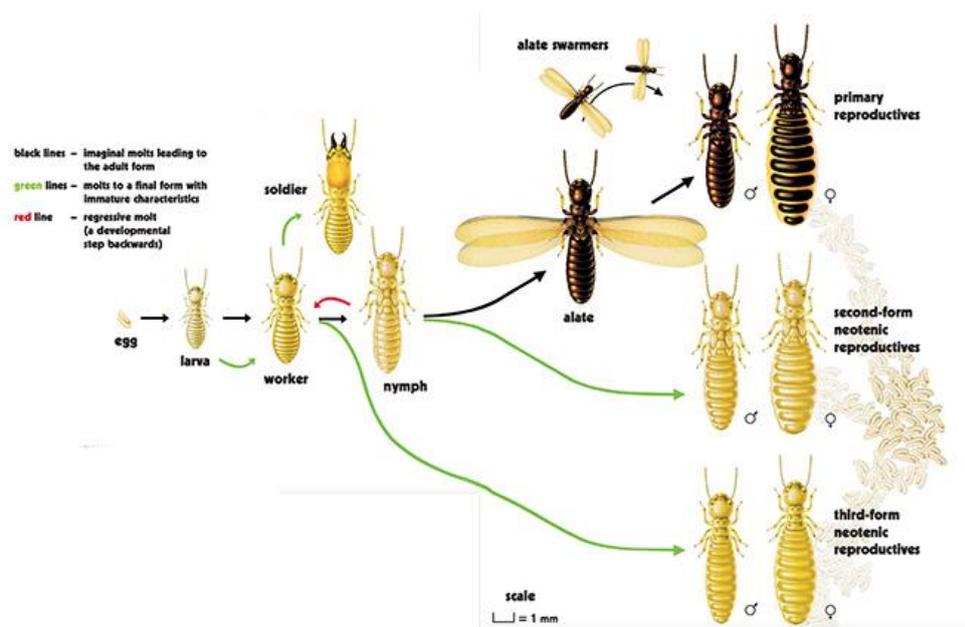
Perkembangan rayap terdiri atas empat fase, fase pertama dimulai dari fase telur, larva, nimfa, hingga tahap dewasa atau imago. Fase nimfa melalui beberapa tahapan instar hingga tumbuh menjadi rayap dewasa. Fase pembentukan kasta pada rayap tidak ditentukan pada tahap telur, setiap

rayap rayap yang menetas dapat berkembang menjadi salah satu dari beberapa kasta (Suiter dkk., 2003).

Kasta pekerja dapat menjadi pekerja sepanjang rentang hidupnya (antara 1 – 4 tahun) dengan mengalami banyak pergantian kulit tanpa berubah menjadi kasta lain, sebaliknya kasta pekerja dapat mengalami pergantian kulit sebanyak 2 kali, pergantian kulit pertama akan mengubah rayap pekerja menjadi pre-soldier, kemudian selanjutnya berubah menjadi kasta tentara. Kasta tentara tidak dapat berganti kulit dan dianggap sebagai tahap akhir. Rayap pekerja juga dapat berkembang menjadi rayap dewasa bersayap (*alate*) dengan melewati tahap *nymph*. *Nymph* (nimfa) adalah rayap dengan kuncup sayap eksternal (Krishna, 1969). Proses perubahan nimfa menuju dewasa (*alate*) melewati beberapa kali pergantian kulit selama beberapa bulan untuk mengembangkan fungsi sayap, mata, dan organ reproduksinya. Rayap tahap nimfa juga dapat mengalami perkembangan unik, yaitu nimfa dapat kehilangan benih sayap selama masa perkembangan, sehingga kembali pada kasta pekerja. Rayap pekerja tersebut disebut dengan *pseudergates* (Suiter dkk., 2003).

Rayap Jantan dan betina yang belum dewasa dan matang secara seksual, dalam kondisi tertentu dapat menjadi reproduktif neotenik. Reproduksi neotenik tidak seperti reproduktif primer (raja dan ratu), mereka tidak mengembangkan sayap, mata majemuk, atau kulit dengan pigmen seragam. Reproduksi neotenik mampu meningkatkan produksi telur pada koloni dan berkontribusi terhadap total produksi telur dalam sebuah koloni hingga

melampaui produksi telur dari satu reproduktif primer. Jumlah reproduktif neotenic akan menentukan percepatan pertumbuhan suatu koloni rayap. Sebuah koloni memiliki beberapa jenis reproduktif neotenic, yaitu reproduktif sekunder yang berkembang dari nimfa yang ditandai dengan adanya tunas sayap kecil serta reproduktif tersier yang berkembang dari pekerja dan tidak memiliki tunas sayap. Fleksibilitas perkembangan rayap menjadi hal penting dalam kemampuannya untuk menyebar dan mendirikan koloni baru (Suiter dkk., 2003).



Gambar 2. Siklus Hidup Rayap

## 5. Pola Hidup dan Perilaku Rayap

Rayap memiliki pola hidup berkelompok dengan satu koloni terdiri atas tiga kasta yaitu ratu, prajurit dan pekerja. Masing-masing kasta dalam koloni rayap memiliki tugas yang berbeda, raja dan ratu bertugas untuk

reproduksi, prajurit memiliki peran untuk melindungi koloninya, dan pekerja bertanggung jawab untuk memelihara, memperbaiki koloni serta mengirimkan makanan untuk ratu rayap (Krishna, 1969). Satu koloni rayap hanya terdapat sepasang raja dan ratu dan didominasi oleh rayap pekerja hingga mencapai >80 – 90% dari total jumlah koloni (Prasetyo & Yusuf, 2005). Komposisi pada suatu koloni tergantung oleh waktu, musim, spesies serta ukuran dan umur koloni (Mahsunah dkk., 2023). Sistem hidup koloni juga terjadi pada kecoa (*Cryptocercus punctulatus*) dan para ahli menyatakan bahwa kecoa secara struktural, sifat, dan perilaku yang mirip dengan nenek moyang rayap (Krishna, 1969).

Rayap hidup pada tempat gelap dan lembap serta memiliki suhu yang hangat. Kelembapan optimal bagi kehidupan rayap antara 70 – 99% (Krishna, 1969). Tempat ideal bagi rayap adalah di dalam kayu atau pada tanah. Rayap bertahan hidup dengan selalu berasosiasi dengan lingkungan yang lembab dan basah. Kelembaban pada sarang didapatkan dari berbagai sumber, seperti pemecahan gula (sumber makanan) dan bahan makanan basah (Pearce, 1997).

Rayap reproduktif terdiri atas individu-individu yang mampu melakukan reproduksi secara seksual yaitu ratu dan raja. Rayap non reproduktif terdiri atas rayap kasta prajurit dan rayap kasta pekerja yang memiliki jenis kelamin jantan dan betina steril yang tidak dapat melakukan reproduksi disebabkan akibat organ reproduksi yang tidak berkembang dengan baik. Suatu koloni rayap yang ditemukan raja dan ratu mati atau bagian dari

koloni terpisah dari koloni induknya, maka kasta reproduktif tambahan dapat terbentuk di dalam sarang untuk mengambil alih fungsi raja dan ratu (Krishna, 1969). Kasta reproduktif tambahan bersklerotisasi dan memiliki pigmen, dengan bantalan-bantalan sayap yang pendek (*brachypterous*) atau tanpa bantalan-bantalan sayap (*apterous*) dan mata majemuk menyusut. Kasta ini terbentuk dari nimfa-nimfa dan mencapai kematangan kelamin tanpa mencapai tahapan dewasa bersayap penuh dan tanpa meninggalkan sarang (Borror dkk., 1992).

Individu pada koloni rayap tidak mampu hidup sendiri dan saling ketergantungan khususnya pada kegiatan makan. Kegiatan transfer makanan ke seluruh anggota koloni rayap dilakukan dengan cara trofalaksis. Trofalaksis merupakan perilaku pertukaran material secara timbal balik melalui ransangan sensorik, menjilati, mencium ataupun menggosokkan tubuh individu rayap pada rayap yang lain untuk menyalurkan makanan, feromon hingga *protozoa flagellata* (Krishna, 1969).

Rayap memiliki perilaku unik lain yaitu mampu menghasilkan suara melalui gerakan kejang, mengetuk serta memukul kepala mereka di tanah. Suara tersebut dihasilkan oleh rayap kasta prajurit sebagai komunikasi peringatan kepada rayap lain melalui getaran substratum yang dihasilkan (Emerson & Simpson, 1929).

## **6. Hubungan Rayap dengan Kesehatan**

Rayap merupakan hama yang merugikan manusia. Rayap dapat menimbulkan kerugian ekonomi yang sangat besar bagi manusia. Serangan

rayap dapat menyebabkan kerusakan fisik secara langsung pada tanaman hingga bangunan seperti rumah, Gedung perkantoran, hingga fasilitas umum lainnya.

Kerusakan yang disebabkan oleh rayap tanah (*Coptotermes cugvinatus*) biasanya oleh masyarakat dikendalikan menggunakan pestisida anti rayap (termitisida) yang didalamnya mengandung senyawa kimia sintetis yang mampu mematikan rayap, namun penggunaan bahan kimia dapat berakibat buruk pada lingkungan karena tidak dapat terurai di lingkungan (Farid dkk., 2019). Akibat buruk yang terjadi akibat penggunaan bahan kimia seperti menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem (Ningsih dkk., 2021).

Upaya pengendalian pada rayap dengan bahan kimia sintetis dapat mempengaruhi kesehatan manusia dalam jangka panjang. Residu yang ditimbulkan oleh bahan kimia sintetis bersifat racun apabila terhirup dan tertelan oleh manusia. Penggunaan pestisida berlebih di lingkungan dapat menimbulkan resistensi (peningkatan penyakit), resistensi (peningkatan ketahanan penyakit), serta keracunan bagi organisme bukan target lainnya (Farid dkk., 2019). Efek penggunaan pestisida dalam jangka waktu lama dapat mengganggu kesehatan lingkungan.

## **7. Pengendalian Rayap**

Usaha dalam pengendalian rayap dilakukan dengan berbagai macam cara. Penggunaan pestisida anti rayap atau termitisida pada bahan bangunan telah banyak dilakukan oleh masyarakat, namun pada penggunaan pestisida sintetis memiliki dampak negatif yang mengakibatkan ekosistem menjadi

tidak seimbang (Ningsih dkk., 2021). Pestisida memiliki dampak negatif, meskipun demikian pestisida kimia tetap digunakan karena efektif dalam mengendalikan hama rayap serta dapat meningkatkan mortalitas rayap pada satu koloni setelah dilakukan aplikasi insektisida (Anggriawan dkk., 2019).

Beberapa senyawa kimia sintetik berupa pestisida anti rayap (termitisida) yang banyak digunakan untuk pengendalian rayap diantaranya insektisida seperti fipronil dan klorpirifos, heptachlor dan chlordane. Selain itu, pengawetan pada kayu agar tidak terserang rayap dapat dilakukan dengan asam borat, permethrin, kerosene (minyak tanah) imidacloprid (Amaliyah dkk., 2019).

Guna meminimalkan dampak negatif akibat penggunaan bahan kimia, maka alternatif lain dalam upaya pengendalian rayap adalah dengan bahan-bahan alami yang mengandung pestisida nabati sebagai bahan pengawet untuk memperpanjang daya guna pakai kayu (Syamsudin dkk., 2023). Penggunaan pestisida nabati dilakukan dengan memanfaatkan bahan bioaktif yang terkandung di dalam tumbuhan seperti atsiri, alkaloid, flavonoid, tanin, steroid, triterpenoid, saponin, dan lain sebagainya yang mampu digunakan sebagai insektisida alami untuk membunuh rayap (Rahayu dkk., 2024). Senyawa tersebut dapat merusak sistem saraf pada serangga sehingga menyebabkan kejang otot dan menyebabkan kematian pada rayap. Selain itu, simbiosis yang hidup di dalam pencernaan rayap akan terbunuh, sehingga rayap tidak dapat mencerna makanan dan terjadi kelaparan hingga rayap mati. Berdasarkan hal tersebut, maka zat ekstraktif

yang terkandung dalam setiap tumbuhan memiliki sifat anti rayap yang berbeda-beda (Ningsih dkk., 2021).

Beberapa tanaman yang dapat digunakan sebagai insektisida alami diantaranya daun sirsak, daun salam, daun sirih, kulit buah jeruk nipis, serai dapur, buah bakau, batang kayu gaharu, batang kecombrang, kulit buah jeruk bali, dan lain sebagainya (Anggriawan dkk., 2019). Insektisida hayati lainnya yang dapat digunakan untuk mengendalikan rayap yaitu jamur *Metarhizium anisopliae* dan jamur *Beauveria bassiana*.

Pengendalian hama rayap dengan insektisida kimia dan insektisida alami dapat dilakukan dengan berbagai metode. Pengendalian dapat dilakukan dengan cara menambahkan pestisida ke dalam kayu, metode pengumpanan, metode fisik serta pengendalian hayati (Sari dkk., 2014). Metode penambahan pestisida ke dalam kayu dapat dilakukan dengan perendaman kayu di dalam bahan pengawet yang telah dilarutkan air pada suhu kamar. Upaya tersebut dilakukan untuk mengisi kayu dengan bahan beracun, sehingga rayap tidak mampu menyerang kayu tersebut (Fitriani dkk., 2019). Metode pengumpanan merupakan metode pengendalian dengan menggunakan bahan yang disukai rayap dari sumber makanan (atraktan) dan mengandung racun yang mampu membunuh rayap. Metode ini dinilai sebagai metode paling efektif, aman serta ramah lingkungan dalam mengendalikan rayap karena racun dapat dimasukkan pada umpan dan mampu membunuh koloni rayap (Putria dkk., 2024).

## 8. Insektisida

Insektisida adalah zat beracun yang digunakan untuk mengurangi dan mengendalikan populasi serangga. Insektisida digunakan pada serangga hama penyebab kerusakan pada tanaman maupun serangga pembawa penyakit (Araújo dkk., 2023). Toksisitas insektisida bergantung pada dua faktor yaitu dosis dan waktu paparan, sehingga banyaknya zat (dosis) yang terlibat serta seberapa sering paparan terhadap zat tersebut terjadi (waktu) menghasilkan 2 jenis toksisitas yaitu toksisitas akut dan toksisitas kronis (NIPHM, t.t.).

Secara umum, insektisida dibagi menjadi 2 jenis, yakni insektisida kontak/non-residual dan insektisida residual. Insektisida kontak/non-residual merupakan insektisida yang cepat hilang setelah diaplikasikan, sehingga tidak mempengaruhi hama dalam jangka panjang. Insektisida residual merupakan insektisida yang tidak cepat terurai dan mampu mengendalikan hama dalam jangka waktu yang panjang (Akashe dkk., 2018). Formulasi insektisida merupakan campuran *technical grade* dengan pengencer dan bahan kimia tambahan. Formulasi pada insektisida dibagi menjadi 3 tipe utama yaitu padatan (solid), cairan (liquids), dan gas (British Columbia, 2017).

Insektisida dalam proses meracuni serangga memiliki cara masuk (*mode of entry*) dan cara kerja (*mode of action*). *Mode of entry* insektisida dibagi menjadi 3 cara yaitu, (1) racun perut (*stomach poison*), insektisida masuk ke dalam tubuh serangga melalui sistem pencernaan; (2) racun kontak

(*contact poison*), insektisida masuk ke dalam tubuh serangga melalui kontak dengan dinding tubuh serangga; (3) fumigant, insektisida masuk ke dalam tubuh serangga melalui sistem pernapasan atau trachea (Brown, 1951).

Cara kerja (*mode of action*) insektisida merupakan cara insektisida memberikan pengaruh melalui suatu target di dalam tubuh serangga, biasanya target berupa enzim atau protein. *Mode of action* dibagi menjadi 5 kelompok yaitu, racun fisik, protoplasmik, pernapasan, saraf, dan racun dengan cara kerja spesifik (Brown, 1951). Namun, dalam aplikasinya, beberapa insektisida menyerang lebih dari satu target di dalam tubuh serangga (Trisyono, 2014).

## 9. Natrium Borat

Natrium borat atau sering disebut dengan boraks dengan rumus kimia  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  merupakan padatan berbentuk serbuk atau kristal berwarna putih, tidak memiliki bau dan dapat menyerap cahaya atau berfluoresensi. Boraks biasanya digunakan pada industri pembuatan taksidermi (pengawetan hewan), insectarium dan herbarium. Fungsi lain boraks digunakan sebagai racun serangga seperti semut dan lalat serta dapat digunakan sebagai larvasida. Boraks juga digunakan sebagai bahan pematris logam, pembuatan kaca, enamel dan produk-produk keramik lainnya. Boraks memiliki nama lain yang lebih dikenal di pasaran seperti pijer, bleng (jawa) atau gendar (KLHK, t.t.).

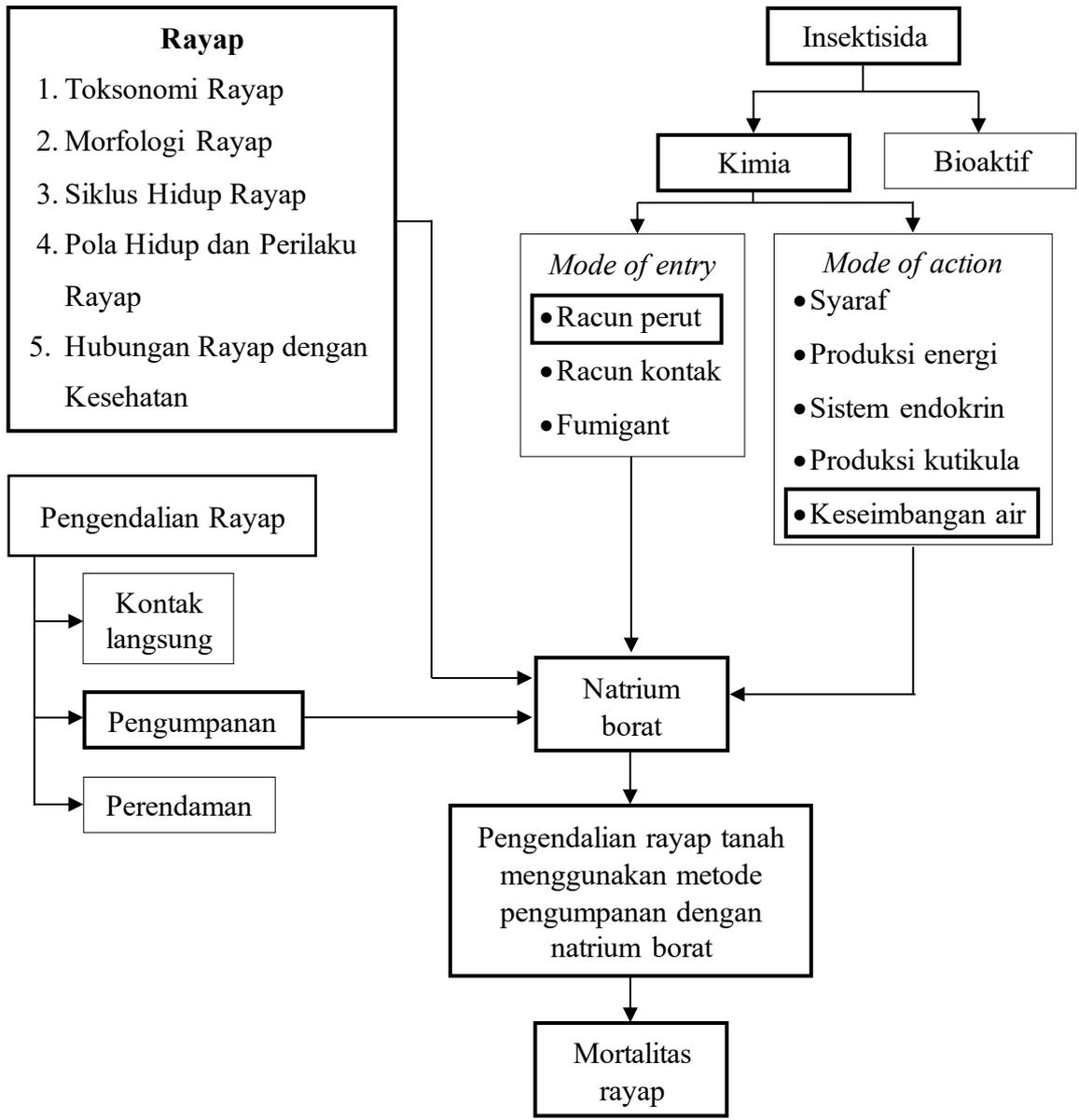
Boraks sebagai insektisida bekerja sebagai racun perut yang akan bereaksi setelah masuk melalui oral kemudian masuk ke organ pencernaan

rayap. Pada saat seekor serangga memakan boraks, maka sistem pencernaan pada serangga akan terganggu. Boraks mampu merusak sistem pencernaan dan mempengaruhi keseimbangan elektrolit pada tubuh serangga. Hal tersebut dapat menyebabkan serangga kehilangan air dari tubuhnya karena boraks mengganggu proses osmosis, sehingga serangga menjadi dehidrasi. Dalam sistem pencernaan, boraks dapat merusak membran sel dan jaringan tubuh serangga. Keseimbangan elektrolit yang terganggu dapat menyebabkan kegagalan fungsi organ dan sistem tubuh, seperti jantung dan sistem saraf. Terganggunya sistem saraf pada serangga mengakibatkan serangga kehilangan *control motoric*, kegelisahan hingga akhirnya menyebabkan kematian (Nurkhamidah dkk., 2017).

Boraks dapat digunakan sebagai racun rayap pada metode pengumpanan dengan cara mencampurkan boraks dengan atraktan atau makanan yang disukai oleh rayap. Sehingga racun akan tertelan bersama makanan yang digunakan sebagai umpan (Ardhita dkk., 2021). Sebagai insektisida, boraks memiliki keuntungan yaitu memiliki toksisitas rendah bagi manusia daripada insektisida lainnya, selain itu karena boraks tidak menimbulkan bau maka serangga tidak menghindarinya, boraks juga tidak membunuh seketika sehingga tidak menimbulkan ketakutan bagi individu lainnya, serta lebih sedikit serangga yang resisten terhadap boraks. Metode pengumpanan pada rayap dapat efektif karena didukung oleh perilaku trofalaxis pada rayap.

Pembuatan umpan untuk metode pengumpanan dengan variasi boraks dapat dilakukan dengan cara menyaring serbuk gergaji sebagai umpan, kemudian mencampurkan umpan dengan bubuk boraks sesuai variasi, lalu ditambahkan dengan 5 – 8 ml akuades, selanjutnya diaduk hingga tercampur rata dan umpan siap untuk digunakan (Sari dkk., 2014). Posedur penelitian sesuai penelitian Ardhita (2021) dilakukan dengan waktu perlakuan selama 3 hari dan diamati setiap 12 jam sekali (Ardhita dkk., 2021).

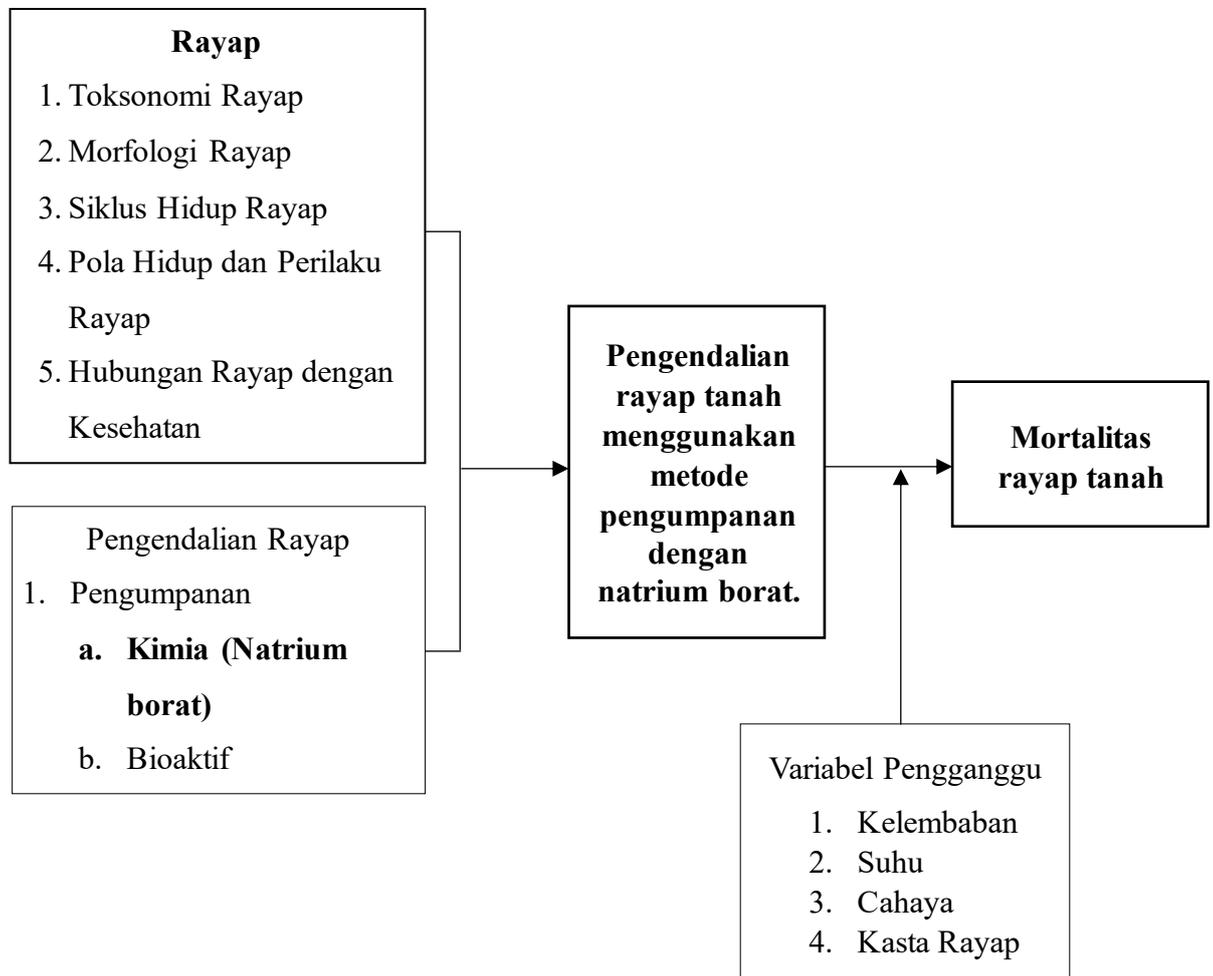
**B. Kerangka Teori**



= Variabel yang diteliti  
 = Variabel yang tidak diteliti

Gambar 3. Kerangka Teori

### C. Kerangka Konsep



Gambar 4. Kerangka Konsep

#### **D. Hipotesis**

##### 1. Hipotesis Mayor

Ada pengaruh variasi natrium borat pada media umpan terhadap mortalitas rayap tanah (*Coptotermes curvignathus*)