

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Osmoregulasi pada Moluska *Teredo navalis* Linnaeus 1758**

Osmoregulasi merupakan mekanisme beban osmotik tubuh yang pantas dilalui oleh *T. navalis* dalam menjalani proses fisiologis secara normal (Anggoro, 2017). Proses osmoregulasi yang dilakukan memerlukan energi dalam menyerap ion-ion yang dibutuhkan tubuh (Yuliani, et al., 2018). Osmoregulasi juga diartikan sebagai mekanisme keseimbangan konsentrasi cairan yang masuk dan keluar yang dilakukan oleh sel (Anggoro, et al., 2018), yang memiliki fungsi mengeluarkan zat-zat yang tidak terpakai lagi oleh tubuh (Maulana, et al, 2013).

Hewan yang tergolong dalam kelompok filum moluska osmoregulasinya dapat berlangsung pada jenis hewan moluska. Fungsi osmoregulasi yang berlangsung pada kelompok hewan moluska *T. navalis* yaitu menyeimbangkan penyerapan melalui proses pemasukan ion dan ekskresi cairan tubuh, yang terjadi pada berbagai kondisi lingkungan terutama di lingkungan laut (Duarte, et al., 2018). Jika terjadi migrasi atau hewan moluska berpindah ke lingkungan yang baru maka proses osmoregulasi akan berlangsung sesuai kondisi lingkungan tersebut, sehingga ketika *T. navalis* berpindah ke lingkungan yang baru tidak sulit beradaptasi dengan regulasi osmoregulasi dalam habitat. Oleh karena itu mekanisme pengaturan osmoregulasi pada hewan moluska memerlukan teknik adaptasi yang khusus agar menjadikan hewan ini mampu bertahan hidup di habitat (Pati, 2014). Proses untuk mempertahankan keseimbangan cairan dalam tubuh

*T. navalis* merupakan proses isosmotik (Lantu, 2010). *T. navalis* memerlukan organ tubuh seperti ginjal, insang, organ respirasi, organ mantel dan tentakel untuk melakukan pengaturan osmoregulasi (Maulana, et al., 2013).

Lantu, (2010) menyatakan bahwa osmoregulasi yang berlangsung pada organisme akuatik didasarkan pada perbedaan tekanan osmotik, dan salinitas menjadi faktor pembatas, sehingga bagi fauna akuatik osmoregulasi diartikan sebagai upaya untuk mengontrol ion melalui sel permeabel. Faktor yang mempengaruhi osmoregulasi yaitu perbedaan konsentrasi tubuh hewan dengan lingkungan sekitar dan salinitas air (Novian, et al., 2013). *T. navalis* memiliki cairan tubuh yang sangat tinggi, oleh karena itu jika sel tubuhnya menerima air dalam jumlah yang banyak maka sel akan kelebihan kadar air (Mohrholz, et al., 2015). Osmoregulasi berkaitan dengan salinitas (Pamungkas, 2012). Jika salinitas tinggi, *T. navalis* berada pada pola hiperosmotik (Borges, 2014). Dengan demikian maka *T. navalis* harus mengekstrak H<sub>2</sub>O (Didžiulis, 2011), khususnya mencerna dan mengabsorpsi makanan (Peter Paalvast dan Velde, 2013). Menurut (Yurisma, 2013) menyatakan bahwa salinitas menjadi faktor pembatas yang mengontrol tingkat konsumsi organisme.

Anggoro, et al., (2018) menyatakan bahwa salinitas lingkungan dapat merubah pengaruh osmoregulasi, kontrol hormonal, energi metabolisme dan pertumbuhan. Salinitas lingkungan merupakan faktor ekologi yang sangat penting dan mempengaruhi fisiologi *T. navalis* (Urbina, et al., 2015). Salinitas mempengaruhi tekanan osmosis (Maulana, et al., 2013). Osmoregulasi yang berlangsung pada *T. navalis* memerlukan keseimbangan osmotik. *T. navalis* tidak

secara aktif mengatur sistem osmosis sehingga harus melakukan regulasi osmotik. *T. navalis* mempunyai sifat osmoregulator dengan mempertahankan osmolaritas hemolimnya tidak bergantung pada habitat (media) sehingga dikatakan memiliki kemampuan meregulasi (Yuliani, et al., 2018). Oleh karena itu pada lingkungan yang cairannya rendah osmoregulator akan membuang cairan dalam jumlah yang besar dan pada lingkungan yang konsentrasi cairannya tinggi *T. navalis* (osmoregulator) akan melepaskan cairan dalam jumlah sedikit (Barbieri, et al., 2019). Pengaturan osmotik yang terjadi di dalam tubuh di sebut dengan osmoregulasi. Dalam proses tersebut rentang osmotik menyebabkan semakin meningkatnya kerja osmotik (Anggoro dan Subandiyono, 2010).

### **1. Prinsip-Prinsip Dasar Osmoregulasi**

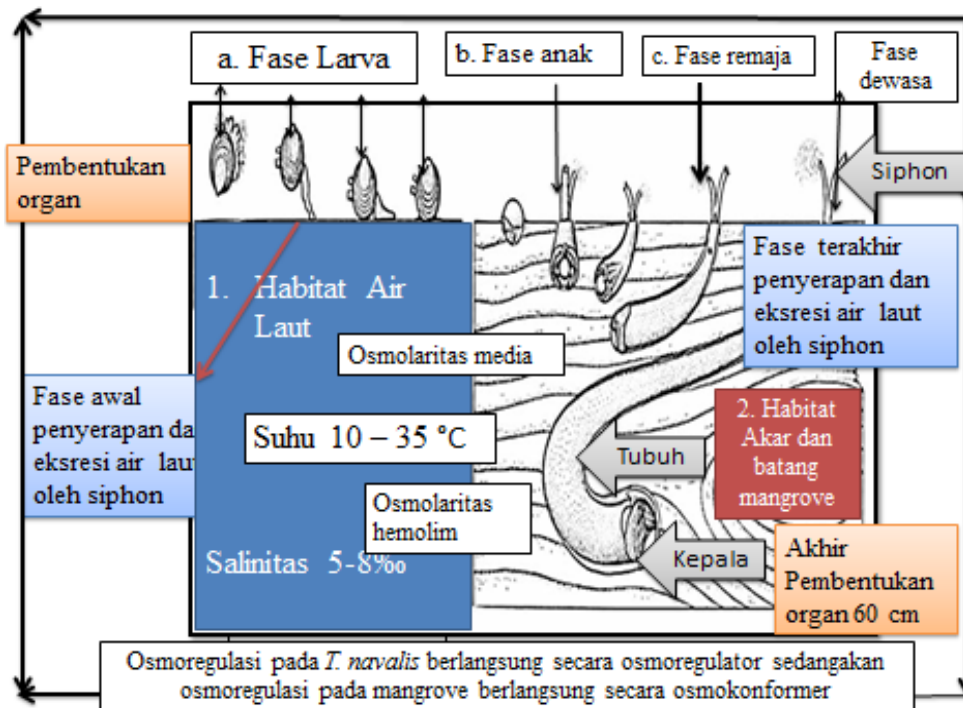
Sebagian besar hewan tingkat rendah (invertebrata) memiliki tekanan osmolaritas hemolim mendekati osmolaritas media atau lingkungan. Kondisi seperti ini dinamakan isotonic. Jika terdapat perubahan konsentrasi dalam mediumnya, maka terjadi penyesuaian antara cairan tubuh dengan perubahan media (Osmokonformer). Sebaliknya hewan yang mempertahankan agar tekanan osmotik cairan tubuhnya relatif konstan lebih rendah dari mediumnya disebut hipoosmotik dan tekanan osmotik semakin naik di namakan hiperosmotik. Untuk mempertahankan cairan tubuh yang relatif stabil, maka *T. navalis* melakukan regulasi (proses osmoregulasi). Pada proses ini *T. navalis* disebut regulator osmotik atau osmoregulator (Anggoro, et al., 2020).

## 2. Mekanisme Osmoregulasi pada Moluska *T. navalis* dan Mangrove

Secara umum organ osmoregulasi hewan invertebrata termasuk moluska *T. navalis* menggunakan pengaturan penyarangan, rearsorpsi dan pengeluaran seperti halnya dengan kerja ginjal pada *T. navalis* yang menghasilkan urin lebih cair dari cairan tubuhnya (Lantu, 2010). Cairan yang dimaksudkan berkaitan dengan tekanan osmotik yaitu pergerakan air dari konsentrasi tinggi (encer) ke konsentrasi cairan yang konsentrasinya rendah atau pekat (Temmy, et al., 2017). Osmoregulasi pada moluska khususnya *T. navalis* bertujuan untuk untuk keseimbangan melalui proses penyerapan dan pembuangan zat. Ketika moluska *T. navalis* berpindah ke lingkungan yang lain, osmoregulasi akan tetap berjalan dan *T. navalis* dapat menempati serta mempertahankan kehidupannya di habitat tersebut (Russell, 2000). Osmoregulasi pada moluska *T. navalis* didasarkan pada morfologi tubuh dan proses fisiologinya, dimana hewan moluska *T. navalis* memiliki sifat permeabel. Jenis hewan moluska baik keong atau siput dan jenis lain termasuk *T. navalis* memiliki organ pernapasan berupa paru-paru yang terbentuk dari mantel dan terlihat melalui celah kecil. Tekanan osmotik cairan tubuh *T. navalis* berbeda-beda sesuai konsentrasi cairan di lingkungan eksternal, sehingga dikatakan memiliki toleransi terhadap air sangat tinggi. Untuk menghindari kehilangan air yang berlebihan, maka moluska *T. navalis* harus melakukan aktifitas lebih tinggi pada saat kondisi kering atau suhu tinggi dengan memperbanyak lobang atau celah dan menyembunyikan diri di dalam celah yang dibuat (Pati, 2014). Proses osmoregulasi *T. navalis* merupakan metode penyesuaian diri khusus yang menjadikan *T. navalis* mampu mempertahankan diri

di lingkungan. Hal ini disebut sebagai osmoregulator. Moluska *T. navalis* tidak selamanya berhabitat di air laut namun dapat berpindah ke air payau. Perpindahan tersebut merupakan proses siklus hidup yang terjadi secara normal. *T. navalis* merupakan kelompok hewan euryhalin yang mampu beradaptasi dengan perubahan salinitas air payau yang tidak stabil. Osmoregulasi merupakan mekanisme pengontrolan pergerakan air dan ion di dalam tubuh dan lingkungan eksternal (Rachmawati, 2012). Proses osmoregulasi terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi cairan tubuh dengan lingkungan eksternal (Yuliani, et al., 2018). Osmoregulasi memiliki fungsi ganda salah satunya sebagai sarana untuk membuang zat-zat yang tidak diperlukan oleh tubuh *T. navalis*. Dalam proses inti osmoregulasi, terjadi suatu peristiwa osmosis, dimana perpindahan cairan yang encer ke cairan yang pekat dan akan tercipta suatu kondisi konsentrasi yang sama dan disebut dengan isotonik. Isotonik adalah dua macam larutan yang mempunyai tekanan osmotik sama (isoosmotik) pada kondisi osmoregulasi (Pamungkas, et al., 2012).

SEKOLAH PASCASARJANA



Gambar 2.1. Bagan osmoregulasi pada moluska *T. navalis* dan mangrove (Sumber: Nair dan Saraswarthy, 1971)

Alasan utama hewan harus melakukan osmoregulasi adalah karena perubahan keseimbangan jumlah air dan zat terlarut di dalam tubuh memungkinkan terjadinya perubahan arah aliran air/zat terlarut menuju ke arah yang tidak diharapkan. Terdapat dua Kriteria hewan yang melakukan proses osmoregulasi yaitu; 1) hewan osmoregulator, yaitu hewan yang mampu melakukan osmoregulasi dengan baik, 2) hewan osmokonformer, yaitu hewan yang tidak mampu mempertahankan tekanan osmotik. Hewan osmokonformer harus beradaptasi agar tetap bisa hidup dengan syarat perubahan lingkungan tidak besar dan dalam kisaran toleransi, tetapi jika perubahan lingkungan terlalu besar maka untuk tetap hidup hewan osmokonformer harus bermigrasi karena jika tidak hewan tersebut akan mati. Lingkungan atau tempat hidup dapat mendukung dan

dapat pula mengancam kehidupan hewan tersebut sehingga diperlukan mekanisme osmoregulasi. Mekanisme osmoregulasi setiap hewan berbeda-beda dengan variasi yang sangat luas tergantung kemampuan dan jenis organ tubuh hewan serta kondisi lingkungan hewan (Maulana, et al., 2013).

## **B. Salinitas dan Osmolaritas**

Salinitas merupakan faktor pembatas yang berpengaruh pada daya konsumsi organisme. *T. navalis* sangat dipengaruhi oleh perubahan salinitas di habitatnya (Appelqvist, et al., 2015a). Kondisi air saat pasang dan surut menjadikan salinitas juga bervariasi. Hemolim adalah patokan konsentrasi zat terlarut dalam suatu larutan. Semakin tinggi osmolaritas, maka konsentrasi air dalam larutan rendah (Yuliani, et al., 2018). Hemolim mengandung terlarut zat makanan dan ion yang dibutuhkan oleh tubuh, untuk berkembang (Samudra dan Anggoro, 2020). Oleh karena itu *T. navalis* sangat memerlukan peranan lingkungan sekitarnya (Pati., 2014). Terdapat dua parameter regulasi keseimbangan cairan yaitu volume cairan ekstrasel dan osmolaritas cairan ekstrasel (Riza, et al., 2020). Regulasi osmolaritas cairan ekstrasel dilakukan melalui perubahan osmolaritas di nefron, dan mekanisme haus (Karim dan Trijuno, 2017).

## **C. Pengaruh Lingkungan Terhadap Osmoregulasi moluska *T. navalis***

Pada dasarnya lingkungan hidup hewan dapat dibagi menjadi lingkungan air dan lingkungan darat (Anggoro, et al., 2013). Lingkungan air dibedakan menjadi lingkungan air laut dan air tawar. Komposisi cairan tubuh kebanyakan

hewan khususnya konsentrasi komponen utama yaitu mereflesikan komposisi air laut (Rachmawati, 2012). Air laut mengandung sekitar 3,5% garam (Rosaini, 2015). Jumlah konsentrasi garam di lingkungan sangat bervariasi sesuai tempat geografisnya. Di lautan tengah dimana penguapan tinggi tidak diikuti dengan jumlah yang sama masuknya air tawar dari sungai, maka lautan tengah memiliki kandungan garam mendekati 4% (Barbier, 2019). Khususnya di daerah pesisir, kandungan agak rendah dibandingkan dengan lautan terbuka, tetapi jumlah relative ion-ion terlarut agak konstan (Hadid, et al., 2014).

#### **D. Bioekologi *Teredo navalis* Linnaeus 1758**

Bioekologi berasal dari kata biologi dan ekologi. Biologi adalah ilmu yang mempelajari kehidupan, termasuk tumbuhan, hewan, manusia, mikroorganisme, dan interaksi antar makhluk hidup (Campbell, et al., 2012). Ekologi adalah cabang ilmu pengetahuan yang mengkaji tentang interaksi, dan penentuan distribusi dan kelimpahan organisme serta hubungan timbal balik dengan lingkungannya (Soemarwoto, 2009). Berdasarkan pengertian biologi dan ekologi tersebut maka bioekologi merupakan bidang ilmu yang mempelajari tentang kehidupan makhluk hidup serta aksi interaksinya dengan lingkungan/habitat (Harahab, 2010). Berdasarkan uraian definisi tersebut maka bioekologi dalam penelitian ini diartikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang interaksi antara *T. navalis* dengan lingkungannya dalam penentuan karakteristik morfologi, kepadatan populasi, distribusi dan kelimpahan organisme di habitat (Sinyo, et al., 2019).

*T. navalis* memiliki kandungan protein (Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi BBT PPI, 2020). Sebagian besar masyarakat pesisir memanfaatkannya

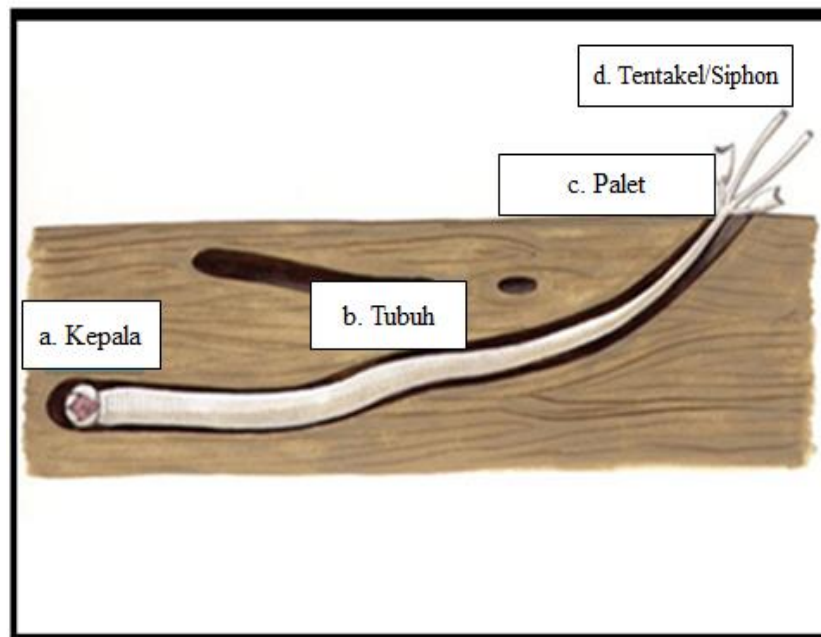


sebagai sumber bahan pangan alternatif (Satrioajie, 2012). Pengetahuan tentang biologi moluska *T. navalis* hingga saat ini masih sangat terbatas akan tetapi keberadaannya sangat diminati oleh masyarakat yang bermukim di wilayah pesisir Halmahera Timur (Sinyo, et al., 2020). *T. navalis* memiliki karakter yang khas. Karakter bioekologi *T. navalis* yang dibahas pada penelitian ini yaitu morfologi dan klasifikasi, sistem reproduksi dan siklus hidup, habitat, populasi dan distribusi (penyebaran), pertumbuhan dan faktor kondisi, kebiasaan makan, predator dan kompetisi, adaptasi dan faktor pembatas, yang dapat diuraikan sebagai berikut.

### **1. Morfologi dan klasifikasi *T. navalis***

*T. navalis* merupakan salah satu jenis fauna kelas bivalva teredinidae dari filum moluska. Fauna ini disebut juga "rayap laut", atau Tereido worms. Nama ilmiah *T. navalis* berasal dari kata "teredo" = kayu yang artinya penggigit (terebo = bor) dan navalis = moluska berbentuk cacing. *T. navalis* juga disebut shipworm karena merupakan kelompok fauna air asin yang berbentuk cacing pemakan kayu lapuk, terendam air pasang surut dan rusak secara alami (Pati, 2014). Kajian morfologi mengarah pada bentuk tubuh atau bagian tubuh organisme dan bagian-bagiannya (Satrioajie, 2012). Morfologi juga diartikan sebagai suatu kajian biologis yang berkaitan dengan bentuk dan struktur internal dan eksternal (Sinyo, et al., 2019). *T. navalis* dapat berhabitat di mangrove, bentuk tubuh memanjang, bertekstur lunak dan berwarna bening, pada bagian kepala terdapat bulatan keras disebut cangkang yang mungil berbentuk bor berfungsi untuk melubangi kayu (Fojutowski, et al., 2014). Tubuh *T. navalis* telanjang, dan lembut (Appelqvist & Havenhand, 2016b). Fungsi cangkang adalah untuk menempel dan melubangi

kayu, sedangkan fungsi dari sifon yaitu sebagai alat pernapasan dan ekskresi, mengisap plankton dan membuang kotoran (Swaim D, 2017). Dalam perkembangan tubuhnya *T. navalis* dapat tumbuh dan memanjang mencapai 58 cm hingga 60 cm, namun ukuran yang ideal ditemui adalah 20 cm (Lippert, et al., 2017). Berikut ditunjukkan morfologi *T. navalis* (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Morfologi tubuh *T. navalis* (a) kepala berbentuk cangkang berwarna merah kecoklatan berfungsi untuk membor kayu, (b) tubuh memanjang berwarna bening kecoklatan, (c) palet yang berfungsi untuk menarik dan menutup siphon, dan (d) tentakel atau siphon berjumlah dua berbentuk lubang kecil berfungsi untuk menghubungkan tubuh dengan kondisi luar dan untuk menjaga aliran air mengalir melalui rongga mantel (Sumber : Fojutowski, et al., 2014).

Fojutowski, et al., (2014) dalam penelitian tentang sifat kayu yang terendam di laut Baltik, hasil penelitian menunjukkan bahwa ditemukan tubuh *T. navalis* tumbuh berukuran 20 -25 cm. Sedangkan pada kayu yang terendam air di wilayah tropis lainnya ukuran tubuhnya hingga 60 cm. Khususnya *T. navalis* dewasa yang hidup di laut Baltik mencapai ukuran panjang hingga 30 cm,<sup>47</sup>

tubuhnya berwarna coklat kemerahan dan memiliki karakteristik bentuk seperti cacing memanjang, bagian anterior tubuh ditutupi oleh shell kecil berukuran hingga 2 cm berbentuk seperti helm. Cangkang terdiri dari dua bagian seperti yang dimiliki oleh bivalvia lainnya, dengan ukuran lobus anterior dan posterior yang sama. Setiap sel berbentuk segitiga dan berwarna putih dengan periostracum berwarna coklat muda (lapisan terluar). Katup cangkang dibagi menjadi dua bagian yang berbeda dan memiliki jarak yang terletak di dekat ujung anterior (Borges, et al., 2014). Warna tubuh kecoklatan terletak di dalam tabung berkapur sepanjang 60 cm dan berdiameter 1 cm. Tabung memiliki dinding pemisah (septa) dekat pembukaan. Lubang kecil yang dimiliki oleh *T. navalis* berfungsi untuk menghubungkan tubuh dengan kondisi luar (lingkungan) dengan cara menjulurkan dua sifon posteriornya untuk menjaga aliran air mengalir melalui rongga mantelnya (MacIntosh, et al., 2012), siphon dapat ditarik dengan cepat ditutup oleh sepasang cangkang berkapur putih berbentuk palet bulat berukuran 0,5 cm. Hal inilah yang membuat *T. navalis* hampir tidak terdeteksi dari luar kayu dan kerusakan kayu dapat dilihat secara nyata dari luar ketika terjadi pemecahan pada penumpukan batang kayu (Pati, 2014).

*T. navalis* memiliki sifon inhalan dan exhalan yaitu struktur anatomi yang berbentuk tabung yang berfungsi sebagai saluran untuk mengalirkan air, udara dan senyawa lain yang dibutuhkan (Voight, 2018). *T. navalis* mempunyai morfologi tubuh yang unik, terdapat cangkang yang terletak di ujung anterior yang digunakan untuk menggali lubang (Appelqvist, et al., 2015b). Karakteristik morfologi dan klasifikasi menurut Didziulis, (2011) yaitu:

Filum : Mollusca  
Kelas : Bivalvia  
Sub kelas : Heterodonta  
Ordo : Myoida  
Sub ordo : Myina  
Super Famili : Pholadoidea  
Famili : Teredinidae  
Genus : Teredo  
Spesies : *Teredo navalis* Linnaeus 1758.

## 2. Sistem reproduksi dan siklus hidup *T. navalis*

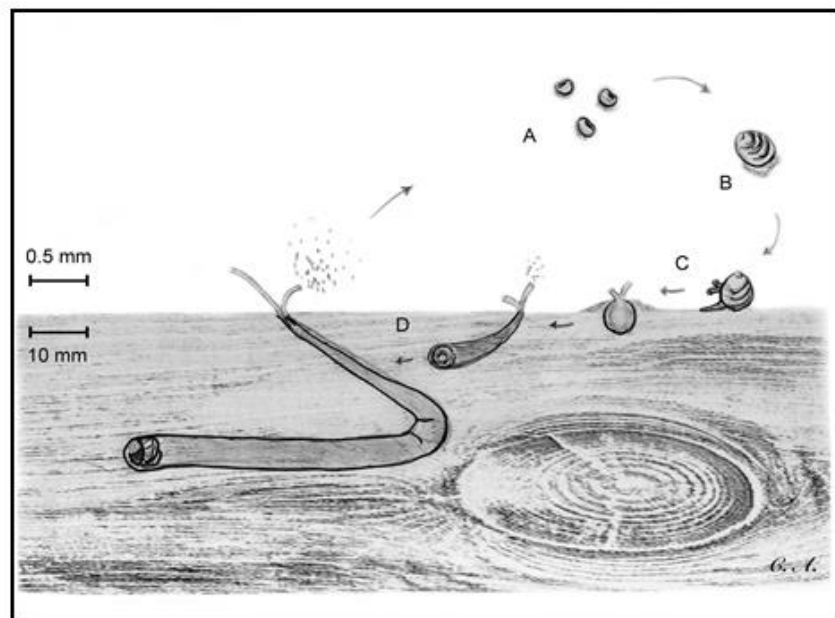
*T. navalis* memiliki siklus hidup dan pola reproduksi yang unik karena *T. navalis* memiliki sifat hermafrodit atau memiliki dua organ kelamin sekaligus di dalam tubuhnya (Appelqvist & Havenhand, 2016a). Reproduksi dan pertumbuhan *T. navalis* pada fase berikutnya *T. navalis* melakukan pergantian kelamin dari jantan menjadi betina (MacIntosh, et al., 2012). Proses perkawinan terjadi ketika *T. navalis* jantan melakukan pelepasan sperma badan laut kemudian sperma dihisap *T. navalis* betina. Sperma yang dihisap tersebut dimanfaatkan oleh betina untuk membuahi sel telurnya. Selanjutnya telur yang dibuahi menghasilkan embrio dan larva. Setelah pembuahan, larva *T. navalis* memasuki badan air selama 15 sampai 35 hari (Macintosh, et al., 2014). Selanjutnya larva *T. navalis* akan mengalami tahap metamorfosis di dalam kayu selama tujuh sampai 8 minggu. Panjang tubuh *T. navalis* setelah melewati tahap metamorfosis yaitu 3-5

cm, pada ukuran ini jenis *T. navalis* telah mengalami kematangan seksual (Weigelt, et al., 2017).

Waktu yang dibutuhkan dalam menjalani tahapan larva yaitu tiga minggu kemudian betina melepaskan larva ke laut lepas. Larva tersebut akan terapung dan menjadikan plankton sebagai makanannya. Selanjutnya larva menjalani siklus hidup dengan menempel pada kayu untuk memasuki fase hidup sebagai hewan yang hidup mengubur diri di dalam kayu selama 6-8 minggu barulah *T. navalis* memasuki tahap kematangan seksual. *T. navalis* dapat bertahan hidup sampai berumur 3 tahun (Appelqvist & Havenhand, 2016a). *T. navalis* menjalani proses reproduksi memerlukan kisaran suhu 15°C - 25°C. Sedangkan rentang suhu untuk aktivitas metabolisme yaitu 10°C hingga 5°C. Suhu pada musim panas memberikan peluang bagi *T. navalis* melakukan aktivitas yang tinggi melalui terbentuknya lubang bor pada akar dan batang. Pola penyebaran *T. navalis* menunjukkan bahwa kemampuan bereproduksinya tinggi (Pati, 2014). *T. navalis* memiliki kemampuan untuk memanfaatkan kayu sebagai habitat dan sumber makanan (MacIntosh, et al., 2012).

*T. navalis* memiliki sifat xylotrophy yaitu kemampuan melubangi kayu yang terampung di perairan laut (Borges, et al., 2014). *T. navalis* juga bersifat hermaphrodit (*monocious*) dan spermocaster. *Monocious* yaitu sifat biologi jantan dan betina yang tidak tampak jelas karena gamet jantan dan betina dihasilkan pada individu yang sama. sifat sperma atau "spermocaster" yaitu sifat yang menonjol pada jantan saat melepaskan sperma secara bebas ke kolom air, dan sifat betina untuk mempertahankan telur di dalam rongga epibranchial untuk proses fertilisasi

melalui penarikan sperma (Appelqvist & Havenhand, 2016b). Fekunditas dalam spesies sangat tinggi dan mampu mengerami 1-5.000.000 larva. Hermaprodit berlangsung pada hewan muda, namun pemisahan jenis kelamin terjadi ketika memasuki fase dewasa (Weigelt, et al., 2017). Reproduksi *T. navalis* melalui perkawinan yang terjadi di musim panas pada salinitas di atas 12‰ (Appelqvist, et al., 2015b). *T. navalis* melangsungkan proses pemijahan dalam kurun waktu bulan Mei - September (Macintosh, et al., 2014).



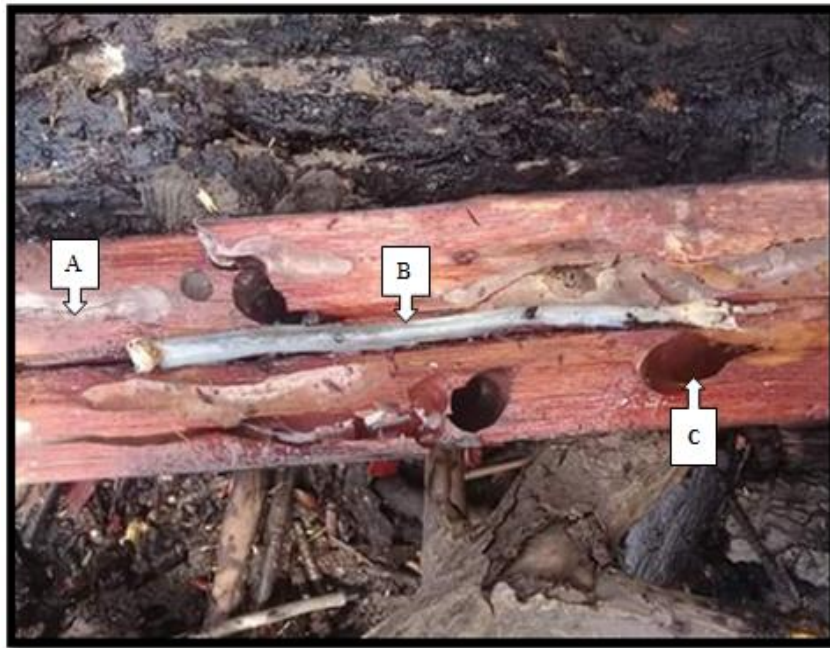
Gambar 2.3. Siklus hidup *Teredo navalis* (A) larva veliger berengsel lurus, (B) larva pediveliger, (C) tahap metamorfosis, (D) tahap pengebor kayu dewasa. Skala adalah perkiraan; 0,5 mm untuk tahap larva pelagis, dan 10 mm untuk tahap dewasa penggerek kayu (Sumber: Appelqvist, et al., 2016).

### 3. Habitat *T. navalis*

Habitat diartikan sebagai tempat tinggal makhluk hidup dan merupakan unit geografi yang menjamin keberlangsungan hidup serta reproduksi individu suatu spesies (Voight, 2015). Proses saling berinteraksi antara makhluk hidup

dengan faktor abiotik terjadi secara kompleks membentuk satu kesatuan disebut dengan habitat. Khususnya jenis makhluk hidup (biota) yang berhabitat di kawasan pesisir dan mangrove memiliki karakter dan tingkah laku yang bervariasi karena sangat bergantung pada habitatnya (Katili, et al., 2018).

Sebagian besar biota perairan pantai berhabitat pada substrat berpasir, berlumpur dan berbatu bahkan beberapa jenis biota termasuk fauna *T. navalis* menjadikan mangrove sebagai habitatnya (Pati, 2014). Hal ini berkaitan dengan fungsi hutan mangrove yaitu sebagai tempat hidup dan berkembangbiaknya biota laut (Isnainingsih & Patria, 2018). *T. navalis* melangsungkan aktivitasnya di akar dan batang mangrove yang sudah rusak atau lapuk akibat terendam air laut (Palanti, et al., 2015). *T. navalis* dikenal sebagai perusak kayu sekaligus menjadikan kayu tersebut sebagai habitat utamanya dan bahkan mengakhiri hidupnya di dalam liang kayu tersebut (Treneman, et al., 2018). *T. navalis* menempati kayu mangrove (habitat) dengan cara membuat lubang (celah) di dalam kayu mencapai 70 hingga 100 centimeter (Sinyo, et al., 2019a). Selain habitat, terdapat istilah relung ekologi yang diartikan sebagai kedudukan fungsi populasi dalam habitat atau menunjukkan peranannya dalam ekosistem karena setiap spesies memiliki keterbatasan untuk hidup (Treneman, et al., 2018). Peranan *T. navalis* bagi hutan mangrove sangat penting untuk mempercepat proses dekomposisi kayu (Paalvast & Velde, 2013) di habitat akar dan batang mangrove (Gambar 2.4).



Gambar 2.4. Habitat *Teredo navalis* (A) mangrove, (B) *T. navalis*, (C) lubang atau celah (Sumber : Sinyo, et al., 2019).

#### 4. Populasi dan distribusi *T. navalis*

Populasi adalah sekumpulan individu yang memiliki ciri, spesies, tempat dan waktu yang sama untuk menyusun satu kesatuan (Utina, 2018). Sedangkan distribusi yaitu penyebaran individu dalam populasi (Weigelt, 2018). Terdapat tiga pola penyebaran hewan yaitu acak, merata dan berkelompok (Borges, 2014). Menurut Lippert, et al., (2017) menyatakan bahwa awal terbentuknya populasi dan distribusi *T. navalis* mengatakan bahwa wabah masal *T. navalis* awalnya berasal dari Denmark, Swedia, dan Jerman, sejak tahun 1930 sampai 1950an. Selanjutnya tahun 1969 sampai sekarang *T. navalis* ditemukan di Thailand, Australia dan Indonesia. Secara geografis distribusi dan populasi *T. navalis* yang tinggi pertama kali ditemukan di benua Eropa kan pada tahun 1731, yaitu ketika



terjadi kayu tanggul di Belanda kemudian ditemukan di laut Baltik tepatnya di Pulau Rügen, Jerman (Fojutowski, et al., 2014).

Menurut Borges, et al., (2014) menyatakan bahwa kajian distribusi *T. navalis* di Eropa dan faktor-faktor yang mengendalikan distribusi juga masih sangat kurang, namun distribusi organisme tersebut dikendalikan oleh banyaknya interaksi variabel lingkungan. Untuk mendapatkan data populasi dan distribusi *T. navalis* di ekosistem mangrove tropis digunakan metode survey di seluruh lahan basah kemudian dilakukan pendeteksian aktivitas pada habitatnya (Swaim, D, 2017). Penyebaran *T. navalis* di dalam akar dan batang mangrove dilihat berdasarkan tingkat aktivitasnya dalam membuat celah pada kayu mangrove (Sinyo, et al., 2019a).

### **5. Pertumbuhan dan faktor kondisi *T. navalis***

Pertumbuhan adalah berubahnya panjang dan berat tubuh dalam satu waktu yang dipengaruhi oleh beberapa faktor (Macintosh, et al., 2014), yaitu faktor morfologis, fisiologis dan faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhannya (Voight, 2018). *T. navalis* merupakan organisme *hermaprodit protandric*, yaitu organisme yang dapat menghasilkan spermatozoa dan ovum pada waktu yang sama maupun berbeda. *Protandric* adalah perubahan kelamin dari jantan menjadi betina. Pertumbuhan dan perkembangan metamorfosis gamet jantan berkembang setelah enam minggu, dalam proses ini gamet jantan dapat memupuk diri sendiri (Appelqvist & Havenhand, 2016b).

MacIntosh, et al., (2012) dalam penelitiannya tentang model kompetisi dan ko-eksistensi Shipworms di habitat khusus, hasil penelitian menunjukkan bahwa

model reproduksi adalah kontributor kunci keberhasilan rekrutmen, *T. navalis* pada habitat tambal sulam dan efektif menyeimbangkan fekunditas, retensi larva, dan kemampuan menyebar. (Gambar 2.5).



Gambar 2.5. Fase pertumbuhan tubuh dan kondisi habitat *T. navalis* (A) kondisi habitat mangrove, (B) Fase pertumbuhan, (C) fase pertumbuhan cangkang (Sumber: MacIntosh, 2012).

Kisaran suhu air maksimum yang dapat memberikan kontribusi hidup bagi *T. navalis* 30°C, dan suhu minimum sekitar 11-15°C, namun faktor lingkungan tertentu diketahui menggunakan kontrol yang dominan terhadap distribusi spesies secara alami (Appelqvist, et al., 2015b). Suhu dan salinitas sebagai faktor penting sebagai penentu kelimpahan dan distribusi *T. navalis* (Pati, 2014).

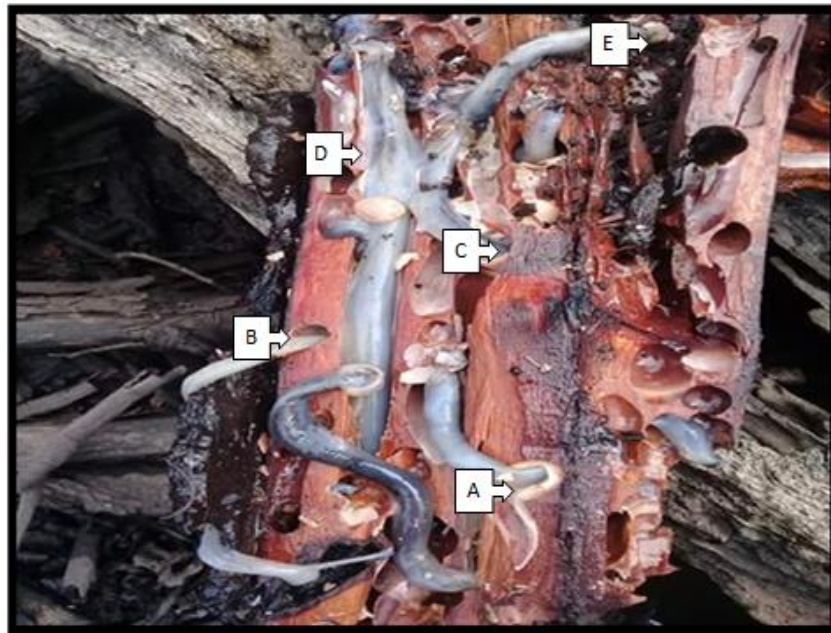
## 6. Kebiasaan makan

Parameter biologi yang berpengaruh bagi kehidupan *T. navalis* yaitu zat organik tersuspensi dan makhluk hidup lain di habitatnya (Peter Paalvast & Velde, 2013). Salah satu faktor pendukung proses metabolisme pada hewan yaitu energi

(Eriksen, et al., 2014). Hewan memerlukan energi untuk melakukan proses metabolisme tubuh maupun aktivitas kesehariannya seperti berpindah, mencari makan, mencerna, mempertahankan suhu badan, lainnya (Paalvast & Velde, 2011). Energi yang dibutuhkan maupun dikeluarkan pada saat menjalani proses metabolisme digunakan untuk proses osmoregulasi (Lestari, et al., 2017). Kebiasaan makan dapat di tunjukan melalui aktivitas keseharian dengan memanfaatkan cangkang dan siphon (Sinyo, et al., 2020). Sebagian besar jenis mangrove yang terendam air pasang surut dijadikan sebagai sumber makanan (Eriksen & Gregory, 2016). *T. navalis* merupakan salah satu spesies Teredinidae yang dapat mengkonsumsi kayu secara eksklusif karena di dalam sel epitelnya terdapat bakteri pengikat nitrogen selulolitik simbiotik yang terletak di dalam insang (Eriksen, et al., 2014). Seston adalah bahan organik tersuspensi yang terdiri dari plankton dan detritus menjadi sumber makanan utama pada saat *T. navalis* berada pada fase larva dan sebagai makanan tambahan ketika berada pada fase dewasa (Weigelt, 2018).

*T. navalis* disebut shipworm karena tergolong sekelompok fauna air asin yang berbentuk cacing dikenal sebagai pemakan serpihan kayu mangrove yang sudah rusak, kayu Dermaga, pelabuhan dan kapal kayu. Paalvast & Velde, (2013) dalam penelitiannya tentang sumber makanan utama dari *T. navalis* dengan menggunakan pendekatan isotop stabil, menunjukkan bahwa *T. navalis* memakan seston dengan menyaring makanan yang berbeda melalui kayu dan menunjukkan nilai isotop stabil. Aktivitas shipworms sangat merusak kayu mangrove yang

digenangi pasang surut air laut (Voight, 2018), seperti terlihat pada gambar 2.6 berikut:



Gambar 2.6. Perilaku (kebiasaan) makan *T. navalis* di habitat mangrove (A) aktivitas membor kayu, (B) aktivitas makan pada kayu bagian luar, (C, D) aktivitas makan pada kayu bagian dalam, (E) aktivitas pembukaan tentakel untuk menangkap makanan dari lingkungan luar (Sumber: Sinyo, et al., 2019).

## 7. Predator dan kompetisi

Predator adalah organisme pemangsa yang berfungsi untuk mengendalikan populasi mangsa. Kompetisi yaitu interaksi yang dilakukan dua organisme yang saling merugikan (Macintosh, et al., 2014), disebabkan karena ketersediaan makanan tidak berbanding lurus dengan jumlah organisme di habitatnya sehingga terjadi kompetisi yang semakin ketat, dan biasanya ini sering terjadi pada kompetisi intrasepsifik (Agussalim, 2013). *T. navalis* memiliki peluang berkompetisi terhadap mangsa sangat rendah disebabkan kondisi tempat tinggal (habitat) yang sempit dan tertutup yaitu lubang atau celah yang dibuat pada akar

dan batang mangrove (Eriksen, et al., 2014). Pada tahap larva sebaran *T. navalis* di laut sangat luas dan sangat tergantung pada toleransi fisiologis (Appelqvist & Havenhand, 2016a). *T. navalis* yang ditemukan pada kawasan mangrove Wailukum Halmahera Timur memiliki ruang kompetisi dan serangan predator yang sangat rendah. Hal ini disebabkan karena aktivitasnya berlangsung di dalam celah/lubang kayu (Sinyo, et al., 2019a).

### **8. Adaptasi dan Faktor Pembatas**

Adaptasi adalah cara yang digunakan organisme untuk mempertahankan hidup dari tekanan lingkungan sekitar (Hitalessy, et al., 2015). *T. navalis* melakukan adaptasi untuk mendapatkan komponen air, udara dan makanan yang dibutuhkan (Izzah & Roziaty, 2016). Bentuk adaptasi yang ditunjukkan *T. navalis* dalam populasi adalah adaptasi morfologi yaitu memiliki cangkang yang keras dan tajam berfungsi membor kayu mangrove yang lapuk, adaptasi fisiologi ditunjukkan melalui fungsi cairan tubuh untuk mencerna kayu dibantu oleh bakteri selulolitik *Teredinibacter turnerae*, dan adaptasi perilaku yaitu melakukan aktivitas melubangi dan menghancurkan kayu yang akan dijadikan habitat. *T. navalis* memiliki strategi adaptasi yaitu dengan menunjukkan respon terhadap faktor lingkungan yang selalu berubah-ubah untuk mempertahankan keberadaan hidupnya (Pati, 2014).

Lingkungan berperan penting dalam menyeleksi komponen populasi yang hidup di dalamnya (Swaim D, 2017). Jenis adaptasi yang ditunjukkan *T. navalis* dalam populasi yaitu adaptasi morfologi, fisiologi, dan perilaku. Populasi yang mampu menyesuaikan diri keberadaannya akan semakin berkembang, sedangkan

populasi yang tidak mampu mempertahankan dirinya maka spesiesnya lama kelamaan akan punah (Treneman, et al., 2018). Faktor lingkungan yang membatasi hidup organisme disebut juga dengan faktor pembatas. Faktor pembatas adalah faktor lingkungan yang membatasi hidup organisme yang diperlihatkan melalui penurunan jumlah dan perkembangan suatu ekosistem (Prasadi, et al., 2016). Faktor lingkungan yang dimaksud yaitu suhu lingkungan, salinitas, pH, dan oksigen terlarut (Appelqvist, et al., 2015a). Faktor pembatas memiliki pengaruh dan rentang terhadap organisme, yaitu rentang nilai minimum, nilai maksimum, dan rentang optimum. Nilai minimum merupakan nilai terendah suatu organisme untuk dapat hidup, ketika organisme berada di bawah nilai tersebut maka organisme akan mati. Sedangkan nilai optimum ialah nilai tertinggi dari faktor pembatas, jika organisme melebihi ambang batas toleransi maka organisme akan mati. Rentang optimum ialah rentang nilai faktor pembatas bagi organisme untuk dapat hidup secara optimal sehingga semua proses fisiologi tubuhnya berjalan secara normal dan organisme dapat tumbuh dan berkembang secara optimal (Lippert, et al., 2017).

Respon pertama kali organisme terhadap perubahan lingkungan disebut ekofisiologi dan masing-masing respon yang diberikan organisme cenderung berbeda-beda. Pada hewan berdarah dingin (poikiloterm), penurunan atau peningkatan laju metabolisme selalu mengikuti penurunan dan peningkatan suhu udara setempat (Appelqvist & Havenhand, 2016a). Sebaliknya pada hewan berdarah panas (homeoterm), penurunan suhu udara sangat berpengaruh

penting karena dapat meningkatkan laju metabolisme untuk mempertahankan suhu tubuh (Appelqvist, et al., 2015b).

#### **D. Kadar garam**

Proses tumbuh mangrove memerlukan adaptasi anatomi, fisiologi dan struktur tumbuhan terhadap habitat (Akbar, et al, 2018). Adaptasi anatomi ditunjukkan melalui cara merespon kondisi habitat yang terlihat ekstrim atau lingkungan salin, seperti terdapatnya kelenjar garam pada golongan tumbuhan *secreter* dan kulit batang terkelupas yang ditunjukkan oleh golongan tumbuhan *non secreter* (Rachmawatu, 2012). Selain itu juga mangrove memiliki akar, lentisel, struktur dan posisi daun yang khas serta suhu yang tinggi (Fries, et al., 2020).

Berdasarkan ada tidaknya kelenjar garam pada mangrove maka tumbuhan tersebut dibagi menjadi golongan *secreter* dan *non secreter*. Golongan *secreter* yaitu mangrove yang mempunyai kelenjar garam seperti *Avicennia* sp, *Aegiceras* spp, dan *Aegialitis* spp. Sedangkan *non secreter* yaitu jenis mangrove yang tidak memiliki komposisi kelenjar garam, seperti *Rhizophora* sp, *Bruguiera* spp, *Lumnizera* spp dan *Zoneratia* spp. Jenis mangrove *non secretes* mengalami kehilangan garam pada saat fase gugur daun. Secara morfologi pada jenis mangrove *non secretes* terdapat kulit luar dengan ketebalan berkisar 0,5-1 cm dan dikategorikan sangat tebal. Kulit tersebut mengalami proses pergantian kulit, kulit mati mengelupas dan diganti oleh kulit yang baru. Hal ini merupakan peristiwa hilangnya (sekresi) garam dari jenis mangrove tersebut (Rachmawati, 2012).

Mangrove *Avicennia* sp memiliki toleransi terhadap konsentrasi garam yang dikeluarkan oleh kelenjar khusus pada organ daun. Mekanisme pengeluaran garam pada tumbuhan halopita di akar terjadi kurang kuat namun mempunyai proses desalinasi di parenkim yang ditunjukkan dengan pengeluaran garam yang aktif (Hendy dan Cragg, 2017). Namun proses pengeluaran garam dalam jumlah kecil saja dapat menjamin keberlangsungan hidup dari jenis mangrove yang mengalami stres terhadap kadar garam tinggi. Ekskresi garam (*salt- excretion*) terjadi secara normal dan selektif dengan ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ , tetapi berlawanan dengan ion-ion hara (Rachmawati, 2012).

Adaptasi anatomi tumbuhan mangrove pada kondisi tanah dan kekurangan oksigen terjadi melalui mekanisme akar salah satunya pada akar napas *Avicennia* spp, lentisel pada jenis akar napas, batang dan daun. Akar adalah organ tumbuhan yang berhubungan langsung dengan lingkungan salin yang berfungsi mengatur pengambilan dan transpor ion. Juga merupakan *barrier* utama bagi aktivitas osmolaritas larutan ke dalam tubuh tumbuhan dan memiliki konsentrasi ion berbeda dengan konsentrasi ion pada medium eksternal (Kariada, et al., 2014). Mangrove memiliki kemampuan mempertahankan keseimbangan air dengan mekanisme pengaturan yang beragam, seperti perilaku stomata, penyesuaian osmotik, tingkat kesekulen, dan pengeluaran garam. Transpirasi pada jenis-jenis mangrove tergolong rendah, sedangkan absorpsi air garam pada akar terjadi setiap saat (Zeng, 2021). Hal ini menyebabkan terjadinya akumulasi garam pada daun. Untuk mengatasi hal ini beberapa jenis mangrove mempunyai kelenjar pengeluaran garam (*excretion gland*) pada daunnya yaitu *Avicennia* sp. Jenis



mangrove yang tidak memiliki kelenjar ekskresi garam, proses pengeluaran dilakukan dengan cara mengalirkan garam melalui daun-daun muda yang baru terbentuk. Sebagian besar mangrove mengandung konsentrasi garam yang tinggi pada jaringannya. Mangrove *non-excretion* khusus semai mempunyai konsentrasi cairan sel dan kadar garam rendah, sehingga tidak menguntungkan untuk translokasi dari akar ke daun. Namun semainya memiliki pericarp dan kotiledon yang bertekanan osmotik tinggi, maka translokasi masih tetap dapat berlangsung (Rachmawati, 2012).

Tekanan osmotik pada daun mangrove *Avicennia* sp mempunyai tekanan osmotik yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena transpirasi osmotik pada daun yang tua terjadi secara cepat. Tekanan osmotik tidak bervariasi secara langsung dengan kandungan air, namun daun tua mengandung air lebih banyak dan mempunyai tekanan osmotik yang lebih tinggi daripada daun yang muda (Kariada, et al., 2014). Sedangkan *Rhizophora* sp dan beberapa jenis mangrove lain melalui proses mekanisme pelarutan garam, sehingga mempunyai tekanan osmotik yang rendah. Peristiwa tersebut menunjukkan bahwa enzim di dalam sel tumbuhan mangrove dihambat oleh konsentrasi garam NaCl yang tinggi, sehingga seolah-olah hampir sebagian besar NaCl pada jaringan mangrove terbagi dalam sel vakuola. disamping itu memiliki ion-ion yang bersifat responsif untuk mengatur osmotik vakuola (Barbier, 2019). Penyesuaian osmotik pada sitoplasma sel-sel mangrove memungkinkan dikelola secara harmonis oleh larutan organik, seperti kolina dan betaina. Meskipun telah diketahui bahwa kebutuhan tumbuhan mangrove akan garam NaCl dipergunakan untuk mengatur osmosis, namun harus

mengontrol pengambilan dan distribusi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  serta ion lainnya untuk menghindari ion-ion toksik. Mekanisme penting dalam pengaturan keseimbangan garam pada mangrove meliputi: (a) kapasitas akar untuk melawan NaCl yang berbeda, (b) pemilihan kelenjar-kelenjar khas sekresi garam dari beberapa jenis pada daunnya, (c) akumulasi garam pada berbagai bagian tumbuhan, dan (d) hilangnya garam ketika daun dan bagian tumbuhan lainnya gugur (Anggoro dan Subandiyono, 2010). Mangrove yang toleran terhadap salinitas, garam NaCl ditimbun dalam vakuola sel daun, sedangkan dalam sitoplasma dan organel kadar garam NaCl tetap rendah, sehingga tidak mengganggu aktivitas enzim dan metabolisme. Tekanan osmotik di sitoplasma dapat diatur dengan cara melarutkan glisibetain, prolin dan sorbitol. Agar penyesuaian osmotik dapat berfungsi sebagaimana mestinya, potensi zat terlarut di dalam sitoplasma harus sama dengan di dalam vakuola. Namun zat terlarut tertentu tidak dapat menyebar merata pada kedua kompartemen sel tersebut. Dengan demikian, tonoplas mempunyai peranan penting dalam mengatur mekanisme transpor zat terlarut (Hamka, et., 2013).

Akar mangrove berperan menyeleksi ion-ion yang diserap dan ditransportasikan ke xilem. Mangrove dapat mengeluarkan 80 – 90 % garam NaCl dari larutan sekitar akarnya. Perbedaan jumlah pengeluaran garam pada jenis mangrove terjadi karena adanya perbedaan garis-garis kaspari (*casparin strip*) di endodermis akar. Mangrove *Avicennia* sp mempunyai kelenjar sekresi garam. Kelenjar tersebut mensekresikan garam NaCl melalui proses yang aktif (Saridu, et a., 2017). Akar dapat mengeluarkan garam sampai pada kisaran 90 – 95% NaCl dari larutan tanah, efek kumulatif dari sisa sebanyak 5 – 10% yang disalurkan ke

daun. Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi garam pada cairan xilem, maka diketahui bahwa kecepatan transpirasi dan konsentrasi NaCl pada daun mangrove membuktikan adanya sejumlah garam yang ditransportasikan ke daun melalui xilem (Akbar, et al., 2018). Sel-sel hipodermal daun berfungsi sebagai tempat cadangan garam, seperti halnya air dan mendorong peredaran sekresi garam. Setiap kelenjar ekskresi garam dari jenis *Avicennia* sp terdiri atas 2 - 4 kumpulan sel, 1 sel batang dan 8 - 12 sel ekskresi. Pada daun muda *Avicennia* sp terdapat dua mekanisme sekresi garam, yaitu (a) *Merocrine* yang terdiri dari formasi sebuah vesikel yang terus bergerak sampai mencapai ukuran maksimum dan pada akhirnya pecah dengan mengeluarkan larutan garam (Rachmawati, 2012). Selanjutnya vesikel tersebut terdisintegrasi dan vesikel yang baru mulai terbentuk, dan (b) *Halocrine*, mekanisme ini dimulai dengan akumulasi larutan yang tersekresi dalam ruangan sub-kutikula yang akhirnya akan merobek lapisan kutikula dan melepaskan larutan garam sebagai titik cair. Proses penyerapan garam terjadi melalui senyawa yang tersedia untuk tumbuh-tumbuhan hanya dalam bentuk kation atau anion (Salisbury dan Ross, 1995). Absorpsi air beserta ion-ion dilakukan terutama oleh ujung-ujung akar yang memiliki permukaan yang luas. Proses penyerapan sebagian besar akan terjadi pada epidermis akar. Ion-ion yang diserap oleh sel epidermis akan bergerak menuju xilem melalui simplas, kemudian menembus epidermis, eksodermis, beberapa sel korteks, endodermis dan akhirnya perisiklus. Walaupun lintasan ion untuk menuju akar dapat beragam, ion harus selalu menerobos membran plasma sel akar yang hidup, bahkan juga saat diserap pertama kali. Meskipun demikian, membran plasma merupakan

penghalang bagi penyerapan ion (Salisbury dan Ross, 1995). Hal ini akan menyebabkan terjadinya timbunan garam. Proses pengambilan garam tumbuhan mangrove merupakan sistem transport pasif. Sistem transport pasif merupakan transport yang digerakkan oleh kekuatan fisik, dalam hal ini dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah yang terdapat dalam sel (Agil, 2014).

Kadar ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  yang besar pada vakuola ditemukan dalam hypodermis dan ada penurunan pada lapisan bagian dalam dari sel korteks akar. Kadar ion daun yang aktif fotosintesis diatur oleh (a) filtrasi ujung yang melingkar kortek akar, (b) pertukaran dari sel parenkim xylem, dan (c) penyerapan  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  di dalam kantong air hypodermal dari daun (Werner dan stelzer, 1990). Dengan adanya timbunan garam menyebabkan kadar ion di dalam sel akan lebih banyak dari pada di luar sel. Penimbunan garam dipengaruhi oleh oksigen, proses transpirasi dan suhu. Kemampuan untuk menimbun garam tersebut berkurang pada sel-sel yang telah mencapai dewasa. Hubungan laju pertumbuhan dan penyerapan ion merupakan hal yang penting, khususnya pada tahap awal penyesuaian terhadap kadar garam ketika terjadi peningkatan konsentrasi larutan dalam cairan berlangsung. Penyesuaian tersebut pada khususnya dipengaruhi oleh pengurangan laju pertumbuhan sebagai respon awal terhadap salinitas. Jika pertumbuhan pada konsentrasi eksternal yang rendah dibatasi oleh laju pengambilan ion, maka peningkatan pertumbuhan diikuti oleh peningkatan konsentrasi ion eksternal. Hubungan antara air dan keseimbangan garam pada tumbuhan mangrove dapat dilihat di dalam bentuk tekanan potensial air, yaitu penjumlahan tekanan potensial dan tekanan osmotik (Salisbury dan Ross, 1995)

yang secara matematika dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:  $W = W_p + W_n$ .  $W$  = tekanan potensial air,  $W_p$ = tekanan potensial dan  $W_n$ = tekanan osmotik. Tekanan air pada jaringan daun selalu lebih rendah dari air laut. Dalam keadaan stomata tertutup, maka tidak terdapat aliran air pada xilem. Pada keadaan stomata terbuka, terjadi pergerakan ke bagian atas, dan tanaman mengalami penurunan tekanan yang disebabkan oleh transpirasi, sehingga air memasuki sel daun dan akhirnya ke luar melalui proses transpirasi. Hal ini membuktikan bahwa tumbuhan mangrove tergolong transpirator rendah. Hampir semua jenis mangrove tumbuh di tanah yang jenuh air, yang potensi airnya diatur oleh potensi osmotik substrat. Akibatnya status air mangrove dipengaruhi secara nyata oleh salinitas substrat. Meskipun demikian banyak sedimen mangrove yang mempunyai daya hantar hidrolis yang rendah dan drainase yang jelek, akibatnya salinitas air yang terkandung di dalamnya lebih tinggi daripada salinitas air dari air pasang yang menggenangi. Pengeluaran garam oleh akar selama pengambilan air diprediksi karena penurunan gradasi kadar garam jauh dari perakaran. Hal ini menunjukkan bahwa akar mangrove terkondisi dengan potensi osmotik yang rendah yang dilihat melalui pengukuran potensi osmotik kejenuhan air pada substrat atau air pasang yang menggenangi (Sukardjo, 1996). Efek dari penyerapan garam adalah gradasi yang secara nyata mengganggu keseimbangan air pada mangrove. Di bawah kondisi yang sesuai, kecepatan transpirasi mungkin berlipat ganda atau lebih besar, meningkatnya konsentrasi garam pada permukaan daun, sehingga perakaran dapat terbuka terhadap potensi osmotik. Osmoregulasi dan cara pembagian ruangan dari ion-ion yang terdapat pada vakuola dari sel akar dan

jaringan lainnya, memerlukan energi metabolik. Dengan demikian aktivitas respirasi akar dan jaringan lainnya meningkat dengan meningkatnya salinitas (Sukardjo, 1996). Salinitas dan area daun pada umumnya berhubungan terbalik. Hal ini dapat dijelaskan oleh terjadinya defisit air dalam organ yang membesar. Namun bukan hanya area daun saja, tapi juga fiksasi CO<sub>2</sub> per unit daun mungkin menurun. Perbedaan anatomi akar *Avicennia* sp dan jenis mangrove yang lain yaitu anatomi akar dari jenis *Avicennia marina* mempunyai kelenjar garam (*salt gland*) sedangkan jenis mangrove yang lain (*Bruguiera gymnorrhiza*) tidak mempunyai kelenjar garam pada daun sebagai kelompok *non-secreter* (*salt-excluder*). Perbedaan terdapat pada panjang dan tebalnya pembuluh akar, perkembangan dan posisi dari lapisan kaspari (*casparian strip*), dan diferensiasi jaringan vaskuler. Sub-erisasi sel endodermal dan hipodermal dari *salt-excluder* dimulai dan diakhiri di belakang ujung akar (Rachmawati, 2012).

#### **E. Protein *Teredo navalis* Linnaeus 1758**

Protein merupakan zat makanan yang berfungsi penyusun dan pengatur tubuh serta mempunyai unsur-unsur yang tidak terdapat pada karbohidrat dan lemak. (Cakra, et al, 2012). Protein berperan sebagai komponen paling utama pada sel hewan maupun manusia (Rosaini, et al., 2015), dan merupakan makronutrisi yang berperan untuk pembentukan biomolekul (Shaviklo, et al., 2012), mengandung karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen dan fosfor (Bello K, 2013), berperan sebagai makromolekul (Diniz, et al., 2013).

Kadar protein pada ikan umumnya berkisar antara 18-25%. Sedangkan persentase kadar protein pada moluska berkisar antara 8,4-14%. Keseluruhan komposisi protein moluska hampir sama dengan protein ikan (Amalia, 2007). Kelompok hewan termasuk juga *T. navalis* yang mengkonsumsi tumbuhan atau menjadikan tumbuhan sebagai sumber makanannya akan mengganti protein nabati menjadi protein hewani yang dimanfaatkan sebagai sumber energi (Hafiluddin, et al, 2011), dan enzim-enzim esensial serta hormon-hormon tertentu (Lestari, et al., 2017).

Ikan dan hewan kelompok moluska termasuk *T. navalis* merupakan komponen sumber protein yang mengandung gizi tinggi yang dijadikan makanan pengganti lauk. Hal ini sangat memberikan manfaat bagi kesehatan manusia (Ida, 2016). Protein merupakan substansi organik dan memiliki kemiripan dengan karbohidrat dan lemak sehingga protein memiliki struktur yang bervariasi dan kompleks daripada lemak dan karbohidrat. Protein sangat diperlukan oleh setiap sel yang hidup dan merupakan komponen terbesar setelah air (Hardinsya, 2013), disebut juga makro nutrisi memiliki peranan penting menentukan ukuran dan struktur sel (Aulia, 2015). Protein kasar adalah komposisi nitrogen di dalam bahan makanan dikali 6,25. Analisis kadar digunakan untuk menghitung kadar protein pada pakan (AOAC, 2005).

Metode KJELDAHL

Metode KJELDAHL selain digunakan untuk menganalisis protein kasar juga sering digunakan untuk menganalisis nitrogen total. Oleh karena itu rasio nitrogen untuk protein bervariasi sesuai dengan sumber yang dipertimbangkan (Diniz, et al., 2013). Protein memiliki susunan unsur kimia seperti karbon, Hidrogen, Oksigen, Nitrogen, belerang, dan posfor. Penetapan kadar protein pada bahan makanan didasarkan pada kandungan nitrogen sebesar 16%. Penentuan berat protein yaitu 6,25 dikali dengan berat (Ningsih, et al., 2018), dan jumlah Nitrogen yang menandakan protein kasar (Rosaini, et al., 2015). Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI: 01-2891-1992) analisis protein kasar daging ikan atau hewan dengan cara KJELDAHL memiliki prinsip dasar. Cara penentuan kadar protein *T. navalis* dilakukan berdasarkan KJELDAHL melalui destruksi, destilasi dan titrasi (AOAC, 2005).

#### **F. Mangrove sebagai habitat *Teredo navalis* Linnaeus 1758**

Indonesia mempunyai kawasan mangrove yang sangat luas (Hadiprayitno dan Ilhamdi, 2014). Mangrove (bakau) adalah tanaman pepohonan yang tumbuh di zona antara laut dan daratan dipengaruhi pasang surut (Akbar, et al., 2018). Hutan bakau dapat menawarkan jasa ekosistem karena memiliki kapasitas yang tinggi untuk proses penyerapan dan penyimpanan karbon, tetapi juga memiliki degradasi yang cepat sehingga ketahanan ekologisnya selalu terancam oleh tekanan manusia (Alafaisha, 2016).

Mangrove yang dijadikan habitat yaitu mangrove yang telah mengalami proses kematangan dan rusak secara alami (Macintosh, et al., 2014). Sumber daya



mangrove Halmahera Timur yang berpotensi untuk dikelola dan dimanfaatkan masyarakat lokal yaitu moluska *T. navalis* (Sinyo, et al., 2020). *T. navalis* pertama kali ditemukan di perairan pesisir Denmark, Swedia, dan Jerman pada tahun 1930 sampai pada tahun 1950an (Weigelt, et al., 2017). Moluska *T. navalis* disebut juga shipworm karena memiliki cangkang di kepala yang berfungsi sebagai bor untuk melubangi kayu dan kelompok organisme pengebor kayu laut, dikenal sebagai cacing kapal dan tersebar di seluruh dunia dari kutub ke zona tropis (Treneman et al., 2018). Banyak pohon mangrove yang rusak secara alami dan terendam air laut dijadikan sebagai habitatnya (Pati, 2014). *T. navalis* disebut sebagai *shipworms* cacing mangrove karena dapat ditemukan di hutan mangrove (Lippert, et al., 2017). Oleh karena itu pengelolaan lingkungan bervegetasi mangrove merupakan hal penting untuk dilakukan dalam upaya pelestarian lingkungan di kawasan pesisir (Pratama & Widodo, 2018), terutama yang berkaitan dengan mekanisme osmoregulasi dan karakteristik bioekologi faunanya (Utomo, et al., 2018). Terdapat tiga wilayah tumbuh mangrove yaitu wilayah terbuka dan selalu tergenang air pasang, wilayah pasang sedang dan wilayah surut terendah (dekat dengan daratan), juga terdapat tiga tipe atau jenis tanah sebagai media tumbuh semua jenis mangrove yaitu jenis tanah berlumpur, berpasir dan berbatu. Terdapat tiga zona sebagai tempat tumbuh mangrove yaitu:

- 1) Zona terbuka (selalu digenangi air pasang) dan selalu digenangi air pasang, memiliki tiga jenis tanah berbatu, berpasir dan berlumpur, pada tanah berbatu ditumbuhi jenis *Rhizophora stylosa* dan *Sonneratia*. Sedangkan jenis *Avicennia marina* dan *Sonneratia alba* tumbuh pada jenis tanah berpasir, dan *Rhizophora mucronata* tumbuh pada jenis tanah berlumpur.

- 2) Zona pasang sedang atau yang dikenal dengan bakau, dan jenis mangrove yang tumbuh pada zona ini yaitu *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora stylosa*, dan *Rhizophora apiculata*.
- 3) Zona pasang tertinggi yaitu zona yang hanya digenangi pada saat pasang tertinggi. Kekayaan spesies menciptakan ekosistem stabil yang memungkinkan organisme yang hidup untuk mempertahankan diri dalam kejadian-kejadian tekanan (Masiyah, 2015). Dalam upaya pengelolaan lingkungan maka terdapat tiga jalur pengelolaan yaitu pengelolaan input, pengelolaan proses, dan pengelolaan output. Terdapat tiga jalur pengelolaan yaitu pengelolaan input, pengelolaan proses, dan pengelolaan output.

Mangrove memiliki karakter morfologi yang unik salah satunya muda lapuk sehingga *T. navalis* mampu beradaptasi terhadap habitatnya. Substrat dan salinitas menjadi faktor penting bagi mangrove agar bisa tetap eksis (Pati, 2014). Faktor tersebut memberi kontribusi untuk penyesuaian respon morfologi dan fisiologi (Borges, et al., 2014). Respon morfologi yang ditunjukkan yaitu membentuk sistem akar dan buah yang khas dan respon fisiologi yang diperlihatkan yaitu terbentuknya struktur anatomi yang khas pada daun, misalnya adanya kelenjar garam dan mekanisme pengeluaran garam (Agil, 2014).

#### **1. Deskripsi *Rhizophora* sp sebagai habitat *T. navalis***

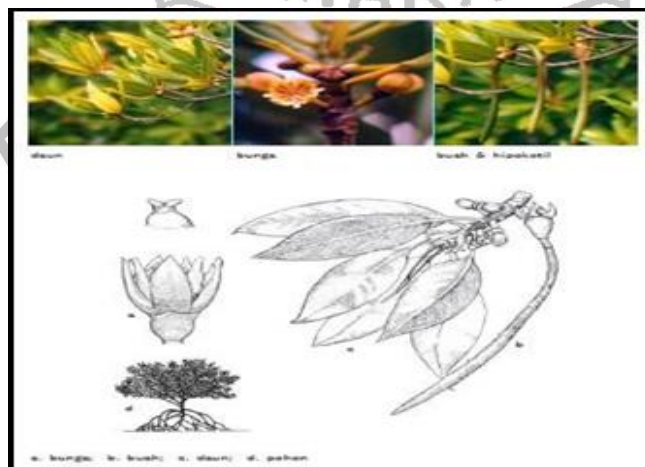
Pada umumnya tumbuh secara berkelompok, dekat atau pada pematang sungai pasang surut dan di muara sungai, jarang sekali tumbuh pada daerah yang jauh dari air pasang surut (Purnaini, et, 2018). Pertumbuhan optimal terjadi pada areal yang tergenang dalam, serta pada tanah yang kaya akan humus (Hewindati,

2018). Merupakan salah satu jenis tumbuhan mangrove yang paling penting dan paling tersebar luas (Wijaya, 2011). Perbungaan terjadi sepanjang tahun (Noor, 2012). Diameter batang hingga 70 cm dengan kulit kayu berwarna gelap hingga hitam dan terdapat celah horizontal (Puryono, et, al 2019). Akar tunjang dan akar udara (napas) yang tumbuh dari percabangan bagian bawah. Cabang akar dapat digunakan sebagai jangkar dengan diberati batu (Baksir, et al, 2018). Sering digunakan sebagai tanaman penghijauan (Utami, et al, 2017).

**a. Spesies *Rhizophora apiculata***

Klasifikasi tumbuhan bakau *Rhizophora apiculata* adalah sebagai berikut:

- Kingdom : Plantae
- Divisi : Magnoliophyta
- Kelas : Magnoliopsida
- Ordo : Myrtales
- Famili : Rhizophoraceae
- Genus : *Rhizophora*
- Spesies : *Rhizophora apiculata* (Sumber: Noor, 2012).



Gambar 2.7. Spesies *Rhizophora apiculata* a. Daun, b. Buah, c. Bunga, d. Morfologi, (Sumber: Noor, 2012)

*Rhizophora apiculata* mempunyai salah satu nama lokal dari *Rhizophora apiculata* yaitu bakau minyak. Tinggi pohon 30 meter, berdiameter batang 50 cm. Memiliki akar napas (akar udara) yang tumbuh dari cabang, tinggi akar 5 meter, Kulit batang berwarna abu tua dan selalu berubah. Tipe daun berkulit, bagian tengah daun berwarna hijau tua dan muda. Bagian bawah daun berwarna kemerahan dengan ukuran gagang daun 17-35 mm. Bentuk daun elips menyempit dibagian ujung meruncing. Sistem pembungaannya biseksual, kepala bunga berwarna kekuningan berukuran 14 mm dan terletak pada gagang berukuran  $\pm 14$  mm, berkelompok dan terletak di ketiak daun. Memiliki daun mahkota 4 berwarna kuning-putih tidak berambut berukuran 9-11 mm. jumlah kelopak bunga berwarna kuning kecoklatan berjumlah 4 berbentuk melengkung. Jumlah benang sari 11-12, tak bertangkai. Permukaan kulit buah kasar berbentuk bulat memanjang seperti buah pir, berwarna coklat, berukuran panjang 2-3,5 cm, berisi satu biji fertil. Ekologinya: Berhabitat dan tumbuh pada substrat berlumpur, halus, dan tergenang pada saat pasang normal. Berada pada zona pasang surut dan selalu dipengaruhi oleh air tawar. Pertumbuhan agak lambat, namun perbungaan terjadi setiap tahun. Sebaran cukup tinggi hingga mencapai 90% dan tersebar di Sri Lanka, Malaysia, Indonesia dan Australia Tropis serta Kepulauan Pasifik. Melimpah di Indonesia. Memiliki manfaat yaitu digunakan sebagai bahan bangunan dan kayu bakar serta arang sedangkan cabang akar digunakan untuk jangkar, dan merupakan tanaman penghijauan (Noor, 2012).

**b. Spesies *Rhizophora mucronata***

Klasifikasi mangrove *Rhizophora mucronata* yaitu sebagai berikut:

Kindom : Plantae  
Divisi : Magnoliophyta  
Kelas : Magnoliopsida  
Ordo : Mytales  
Famili : Rhizophoraceae  
Genus : Rhizophora  
Spesies : *Rhizophora mucronata* Lamk (Sumber: Noor, 2012).



Gambar 2.8. *Rhizophora mucronata* Lamk a. Daun, b. Bunga, c. Buah, d. Morfologi, (Sumber: Noor, 2012).

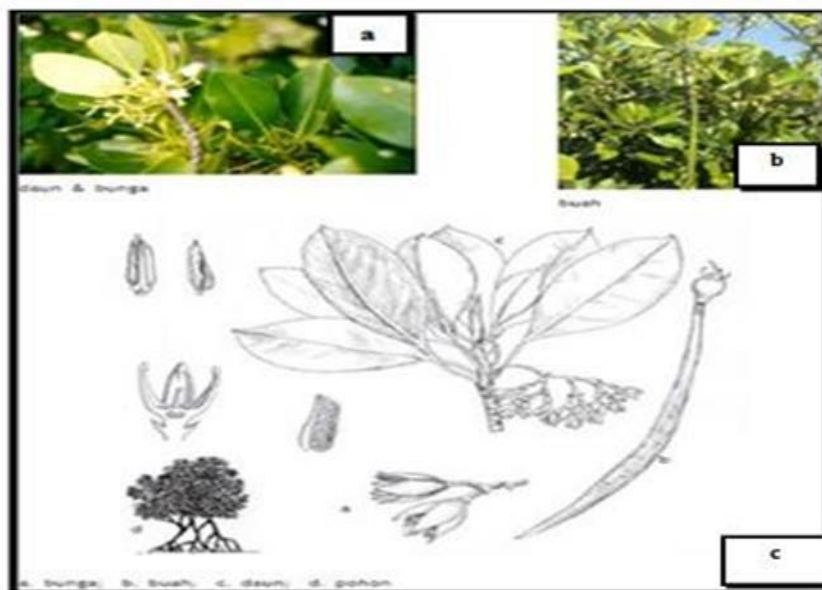
*Rhizophora mucronata* memiliki ukuran tinggi pohon 20 meter, memiliki kulit batang yang kasar berwarna abu kehitaman. Memiliki bentuk daun elips dan panjang berukuran 10- 16 cm, ujung daun meruncing menyerupai duri (mucronatus), tulang daun bagian bawah berwarna hijau berbintik hitam dan tidak merata. Memiliki bunga tersusun 4 sampai 8 bunga tunggal,<sup>74</sup>

kelopak bunga berjumlah 4 dan berwarna kuning gading, mahkota bunga berjumlah 4 dan berambut, benang sari berjumlah 8. Panjang tangkai putik yaitu 1–2 mm terdapat dua belahan di bagian ujung. Memiliki buah benrbentuk seperti jambu air dengan ukuran 2 sampai 2,3 cm berwarna hijau kekuningan dan panjang buah mencapai 90 cm, permukaan berbintik-bintik. Memiliki akar tunjang dan tumbuh di tanah berlumpur dalam.

**c. Spesies *Rhizophora stylosa***

Klasifikasi tumbuhan *Rhizophora stylosa* adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae  
Divisi : Magnoliophyta  
Kelas : Magnoliopsida  
Ordo : Malpighiales  
Famili : Rhizophoraceae  
Genus : *Rhizophora*  
Spesies : *Rhizophora Stylosa* (Sumber: Noor, 2012).



Gambar 2.9. Spesies *Rhizophora Stylosa* Daun, bunga, b. Buah, c. Morfologi *Rhizophora stylosa*, Sumber: (Noor, 2012).

Mangrove *Rhizophora stylosa* memiliki nama lokal yaitu bakau, tinggi pohon 10 meter dan memiliki banyak batang. Kulit kayu terlihat halus memiliki bercelah dan berwarna abu-abu kehitaman. Panjang akar 3 meter dan merupakan akar tunjang dan akar napas yang tumbuh dari cabang bagian bawah. Daun berkulit dan terlihat berbintik di lapisan bawah. Mempunyai gagang daun yang berwarna hijau berukuran panjang 1 hingga 3,5 cm, letaknya berlawanan, berbentuk elips dan ujungnya runcing (Noor, et al., 1999). Bunga terletak di ketiak daun secara berkelompok. Memiliki 4 daun mahkota dan berambut. Kelopak bunga berjumlah 4 berwarna kuning kehijauan. Memiliki 8 benang sari dan satu tangkai putik berukuran panjang 4 sampai 6 cm. Panjang buah 2,5 hingga 4 cm, berbentuk buah pir, berwarna coklat.

## 2. Deskripsi *Avicennia* sp sebagai habitat *T. navalis*

### a. Spesies *Avicennia marina*

Klasifikasi tumbuhan *Avicennia marina* menurut Magfirah, (2010) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Kindom : Plantae

Divisi : Tracheophyta

Kelas : Magnoliopsida

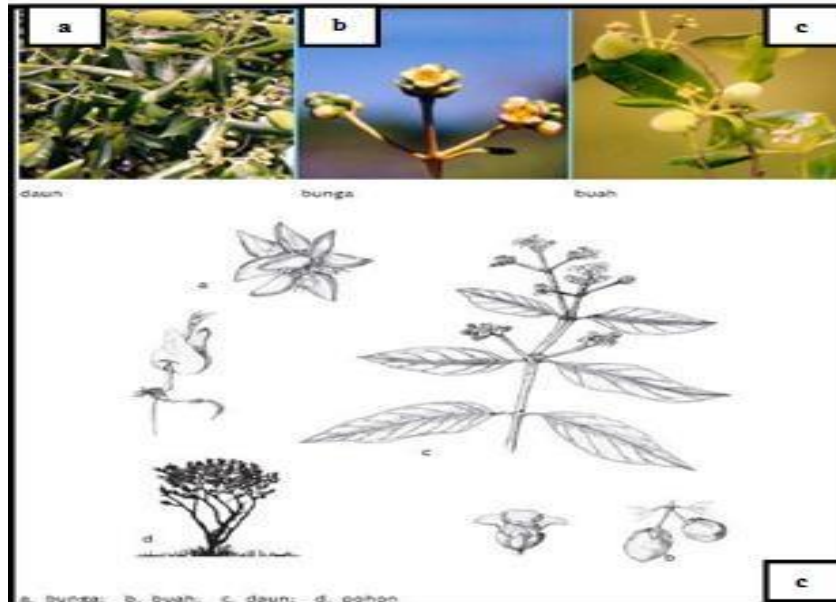
Ordo : Lamiales

Famili : Acanthaceae



Genus : *Avicennia*

Spesies : *Avicennia marina*.



Gambar 2.10. Spesies *Avicennia marina* a. Daun, b.Bunga, c.Buah, d. Morfologi *Avicennia marina*, Sumber: (Noor, 2012).

Tinggi pohon *Avicennia marina* berukuran 12 meter, mempunyai bentuk akar yang menonjol ke permukaan disebut akar nafas. Kulit kayunya bertekstur halus terdapat burik- burik berwarna hijau-abu. Terdapat serbuk tipis pada batang yang tua. Daun berwarna hijau, berbentuk lancip di ujung dan bagian depan daun berwarna keabu-abuan, daun berukuran 5 hingga 11 cm. Bentuk bunga bulat kecil berdiameter 0,4 hingga 0,5 cm berwarna kuning hingga oranye, sedangkan buahnya berbentuk bulat dan lancip (Magfirah, 2010). Dipermukaan buah terdapat rambut halus berwarna hijau dengan ukuran panjang 1,5 – 2,5 cm dan lebar 1,5 – 2,0 cm. tumbuh diberbagai substrat dan zona pasang surut. Tumbuh dan tersebar di seluruh Indonesia. Faunnya bermanfaat sebagai obat bagi kulit yang terbakar,

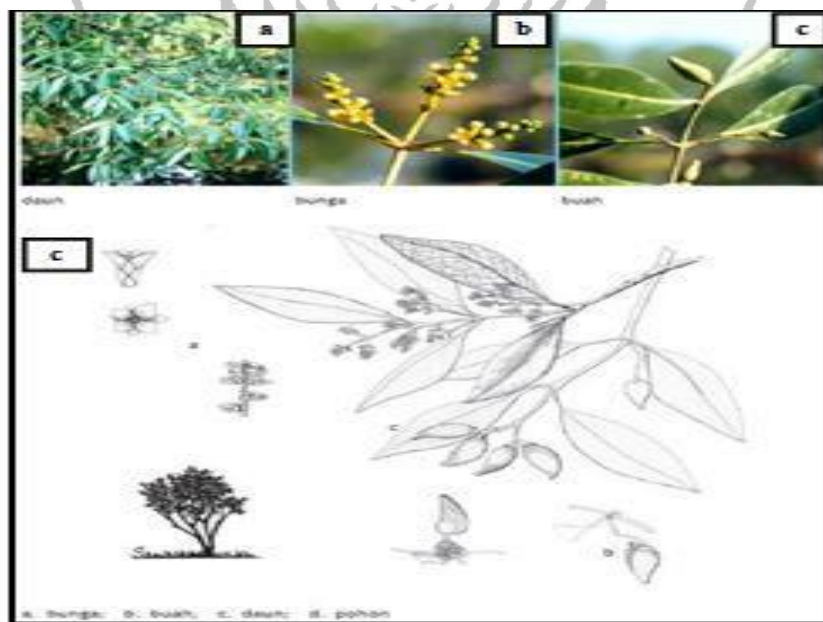


buahnya dapat dimakan, resin dibagian kulitnya digunakan sebagai alat kontrasepsi. Kayunya dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan kertas dan daunnya dimanfaatkan sebagai makanan ternak (Agoramoorthy, et al., 2008).

**b. Spesies *Avicennia alba* Blume**

Klasifikasi tumbuhan *Avicennia alba* menurut Magfirah, (2010) adalah sebagai berikut:

- Kindom : Plantae
- Divisi : Tracheophyta
- Kelas : Magnoliopsida
- Ordo : Scrophulariales
- Famili : Verbenaceae
- Genus : *Avicennia*
- Spesies : *Avicennia alba blume.*



Gambar 2.11. Spesies *Avicennia alba blume* a. Daun, b.Bunga, c.Buah, d. Morfologi *Avicennia alba blume*, Sumber: (Magfirah, 2010).

Deskripsi *Avicennia alba* Blume merupakan kelompok belukar dan tinggi pohon 25 meter, sistem perakaran horizontal dan akar napas yang tipis dan berbentuk jari ditutupi lentisel. Kulit kayu luar berwarna gelap kecokelatan. Permukaan daun bertekstur halus, bagian atas daun berwarna hijau mengkilat sedangkan bagian bawah daunnya berwarna pucat dan berbentuk daun elips dan ujungnya meruncing. Buah berbentuk kerucut seperti cabe berwarna hijau muda kekuningan dengan ukuran 4x2 cm. Tumbuh di zona rawa dan dipinggiran sungai yang selalu dipengaruhi pasang surut. Bermanfaat untuk kayu bakar, getahnya dimanfaatkan untuk Tersebar di Indonesia, Cina, Malaysia, philipina dan Australia tropis.

**c. Spesies *Avicennia officinalis***

Klasifikasi tumbuhan *Avicennia officinalis* adalah sebagai berikut:

Kindom : Plantae

Divisi : Magnoliophyta

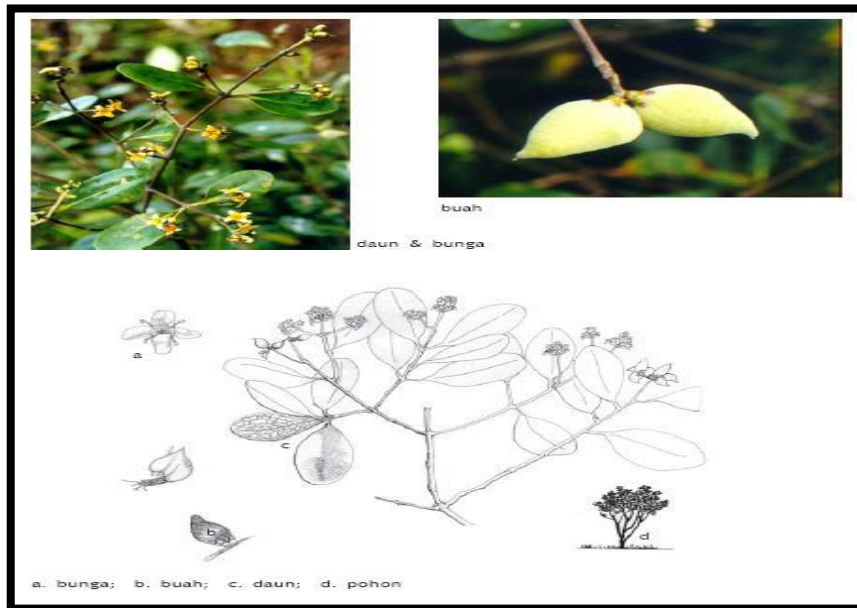
Kelas : Magnoliopsida

Ordo : Scrophulariales

Famili : Acanthaceae

Genus : *Avicennia*

Spesies : *Avicennia officinalis* L (Sumber: Magfirah, 2010)



Gambar 2.12. Spesies *Avicennia officinalis* L a. Bunga, b. Buah, c. Daun, d. Pohon *Avicennia officinalis* L, Sumber: (Magfirah, 2010).

Deskripsi, tinggi pohon mencapai 12 meter hingga 20 meter. Memiliki akar tunjang dan akar nafas, akar berbentuk jari yang terbungkus dengan lentisel. Permukaan kulit batang halus, terdapat lentisel dan berwarna hijau-keabu-abuan hingga kecoklatan. Permukaan atas daun berwarna hijau tua dan di bagian bawah berwarna hijau kekuningan. Terdapat bintik-bintik kelenjar berbentuk cekung. (Noor , 2006). Unit dan letak daun berlawanan. Bentuk daun bulat seperti telur terbalik atau elips bulat memanjang berukuran 12,5 x 6 cm. Susunan bunga seperti trisula dan bergerombol muncul di ujung tandan, menyebarkan bau menyengat. Tampilan daun acak atau tidak beraturan, kadang-kadang dibungkus rambut halus berukuran 2x3 cm. Bunga muncul diketiak tangkai berjumlah 2-10. Tumbuh di daerah rawa, daerah aliran sungai yang dekat dengan zona pasang surut. Ditemukan tersebar di seluruh Indonesia, India, Malaysia, PNG dan Australia

Timur. Buah, kayu dan getah kayu dapat dimanfaatkan sebagai makanan karena bisa dikonsumsi, sebagai kayu bakar dan dijadikan bahan baku untuk alat kontrasepsi (Noor, 2006).

**d. Spesies *Avicennia lanata***

Klasifikasi tumbuhan *Avicennia lanata* adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Divisi : Magnoliophyta

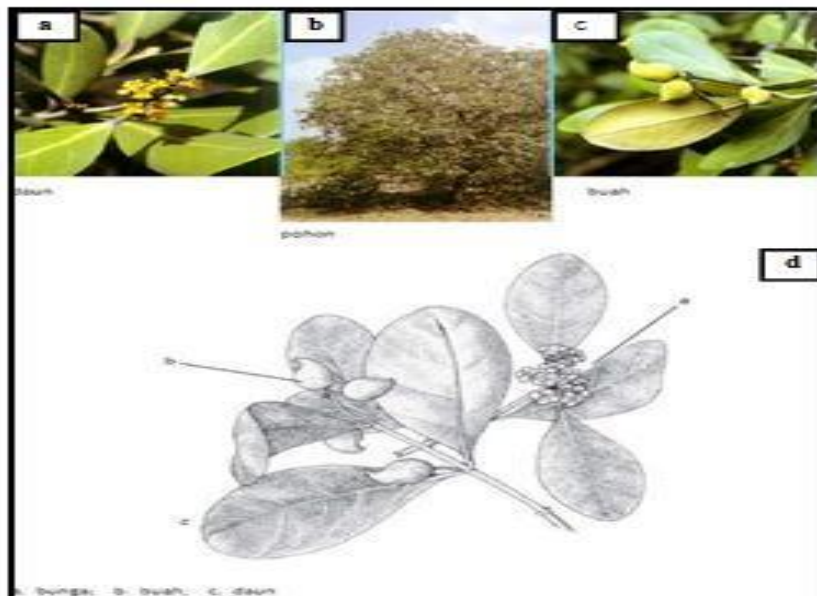
Kelas : Magnoliopsida

Ordo : Lamiales

Famili : Acanthaceae

Genus : *Avicennia*

Spesies : *Avicennia lanata* (Sumber: Maghfirah, 2010).



Gambar 2.13. Spesies *Avicennia lanata* a. Daun, bunga b. Pohon, c. Buah, d. Morfologi *Avicennia lanata*, Sumber: Noor, (2012)

Mangrove *Avicennia lanata* merupakan jenis pohon yang tumbuh menyebar. Tinggi pohon 8 meter. Akar berbentuk pensil dan merupakan akar napas. Kayu berkulit menyerupai sisik ikan hiu dan berwarna gelap yaitu coklat kehitaman. Pada bagian bawah daun berwarna putih kekuningan dan terdapat rambut halus. Memiliki kelenjar garam, letak daun sederhana dan berlawanan, daun berbentuk elips dan bagian ujungnya membulat dan runcing berukuran 9 x 5 cm. tumbuh bergerombol di ujung tandan, mengandung bau menyengat. Tumbuh pada dataran lumpur, tepi sungai, serta zona kering dan toleran terhadap kadar garam yang tinggi. Tumbuh di substrat berlumpur, tepi sungai, daerah yang kering dan toleran terhadap kadar garam yang tinggi. Tersebar di Kalimantan, Bali, Lombok, Semenanjung Malaysia, Singapura (Noor, 2012).

### **G. Domestikasi *Teredo navalis* Linnaeus 1758**

Istilah domestikasi dari kata latin yaitu “Domus” artinya “rumah”. Proses penyerapan garam dan kadar salinitas berkaitan dengan proses domestikasi hewan. Hal ini dapat dilihat melalui metode pengadopsian hewan dari habitat asli ke lingkungan budidaya (Rahmawati, et al., 2013). Sedangkan upaya membuat spesies liar menjadi spesies budidaya disebut domestikasi spesies. Domestikasi memiliki fase pertumbuhan, dan adaptasi (Muslim & Syaifudin, 2012). Kajian domestikasi pada penelitian ini menggunakan percobaan faktorial dan analisis ragam (Rahmawati, 2012).

Eriksen, et al., 2015 dalam penelitiannya tentang serangan selektif *Teredo navalis* terhadap kayu arkeologi yang tergenang dan implikasinya bagi pelestarian in situ, hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan menggunakan batang

mangrove berdiameter 15 cm yang dipotong menjadi 12 bagian dengan pohon pinus sebagai pengontrolnya ketika direndam di dasar perairan setelah 4 bulan menghasilkan sifat pro aktif *Teredo navalis* terhadap habitatnya sangat tinggi yaitu melalui aktivitas membuat lobang (bor) pada sampel kayu yang terendam. Hal ini juga merupakan salah satu usaha pelestarian fauna yang dilakukan dalam habitat aslinya (Insitu). Mangrove yang selalu terendam air pasang dan surut memiliki kemampuan untuk menyerap air laut yang mengandung kadar garam (Sinyo, et al., 2019). Proses penyerapan garam pada tumbuhan mangrove dalam bentuk kation atau anion (Duarte, et al., 2018). Absorpsi air dan ion-ion terjadi di akar dan batang yang memiliki kemampuan menyerap air dan ion-ion (Rachmawati, et al., 2012).

Proseses pertumbuhan terjadi di dalam tubuh organisme yang ditandai dengan penambahan berat dan panjang tubuh. Pertumbuhan fisik dapat dilihat melalui penambahan sel tubuh setiap saat. Pertumbuhan tubuh ditandai dengan perubahan bentuk tubuh. (Anggoro, 2000). *T. navalis* memiliki fase pertumbuhan lebih cepat, pada fase larva ke fase dewasa (Lippert, et al., 2017) dibandingkan *T. navalis* yang sudah dewasa (Weigelt, et al., 2017). Pertumbuhan *T. navalis* terhenti setelah dewasa dengan ukuran tubuh mencapai 60-70 cm (Macintosh, et al., 2014). Pertumbuhan *T. navalis* dapat dibedakan melalui perpanjangan tubuh dan penambahan berat (MacIntosh, et al., 2012). Pada dasarnya, pertumbuhan *T. navalis* tergantung pada energi yang tersedia. *T. navalis* memperoleh energi dari kayu mangrove dan siphon yang dikonsumsi. Salinitas berpengaruh secara tidak langsung terhadap perubahan kualitas air (Appelqvist, et al., 2015b).

Menurut (Peter Paalvast & Velde, 2013), *T. navalis* merupakan organisme yang hidup di dalam akar dan batang mangrove dan bersifat euryhaline. Pakan utamanya adalah serpihan kayu lapuk, dan siphon dengan memanfaatkan cangkang di kepalanya dibantu oleh bakteri selulosa. Selanjutnya Liao dan Huang, (2002) menyatakan bahwa karakteristik yang menentukan kesesuaian spesies calon untuk domestikasi dalam budidaya yaitu pertumbuhannya cepat, nilai ekonomi tinggi, ketahanan terhadap stress, kepatuhan, siklus hidup sederhana, dan karakteristik fisik positif (warna, bentuk dan aroma). Hal ini juga tidak lepas dari pengaruh faktor lingkungan.

Pengaruh faktor lingkungan terhadap ekofisiologi moluska, dapat dikelompokkan menjadi lima kategori yaitu :

1. *Lethal factor* adalah faktor lingkungan bertindak sebagai faktor mematikan ketika mempunyai pengaruh menghancurkan integrasi organisme.
2. *Controlling factor* merupakan salah satu kategori yang mengatur tingkat metabolisme. Mengontrol faktor-faktor yang mengatur tingkat metabolisme dengan mempengaruhi aktivasi komponen molekul dari rantai metabolisme. Suhu adalah yang paling menonjol dari faktor-faktor pengendalian. Faktor kontrol juga membutuhkan tingkat metabolisme tertentu minimum yang diadopsi, perlu untuk melepaskan energi yang diperlukan tubuh.
3. *Limiting factor* merupakan kategori kedua yang mengatur tingkat metabolisme. Efek dari faktor pembatas untuk mempercepat tingkat metabolisme oleh tingkat maksimum kontrol faktor. Faktor-faktor pembatas beroperasi untuk membatasi pasokan atau penghapusan bahan rantai metabolisme. Oleh karena

itu pengurangan pengiriman oksigen di bawah tingkat tertentu dapat mengurangi tingkat metabolisme, dan di bawah tingkat itu kita dapat mengatakan bahwa membatasi pasokan oksigen. Efek dari faktor pembatas untuk mempercepat tingkat metabolisme oleh tingkat maksimum kontrol faktor.

4. *Masking factor* yaitu faktor-faktor yang bisa memperbaharui parameter lingkungan menjadi satu melalui regulasi osmotik tubuh organisme.
5. *Directive factor* merupakan faktor memaksa gerakan terkenal direktif yang memberikan bimbingan dalam bergerak hewan di lingkungan dalam kaitannya dengan hambatan fisik dan untuk interaksi dengan organisme lain. Petunjuk faktor juga memicu respon fisiologis tanpa mediasi rasa, seperti efek photoperiod pada hipofisis.

Hewan moluska *T. navalis* memerlukan adaptasi media. Berdasarkan respon osmotik yang dilakukan *T. navalis* dikategorikan pada tipe osmoregulator. Oleh karena itu hewan ini disebut sebagai osmoregulator dimana kemampuan osmoregulasi yang dimiliki mampu mempengaruhi tingkat perkembangan organ, stadia hidup dan tingkat salinitas pada media (Anggoro, et al, 2018). *T. navalis* termasuk dalam kelompok biota air yang memiliki keadaan osmotik stabil, mempunyai mekanisme respon faali dalam emnstabilkan cairan habitatnya (media) dengan cairan tubuhnya. *T. navalis* merupakan organisme euryhaline yaitu memiliki rentang salinitas dari rendah hingga tinggi.

Adaptasi pakan adalah cara organisme akuatik terhadap jenis pakan yang ada di lingkungan sekitarnya sesuai dengan fase pertumbuhan (Rachmawati & Ka,



2012). Oleh karena itu organisme membutuhkan adaptasi pakan. Pada fase larva *T. navalis* melangsungkan siklus hidupnya di laut dan menjadikan siphon sebagai makanannya. Ketika memasuki fase dewasa (3 minggu) *T. navalis* berpindah ke kayu mangrove yang lapuk dan memfungsikan cangkangnya untuk membor kayu dan menjadikan liang kayu sebagai habitat dan makanannya (Pati, 2014). Menurut Paalvast & Velde (2013), *T. navalis* merupakan invertebrata yang memiliki insang dan cangkang di kepalanya digunakan sebagai alat untuk membor dan memotong untuk membuat liang pada kayu. Pola adaptasi yang dijumpai pada *T. navalis* cangkang lunak, tentakel dan insang untuk membor, menangkap siphon dan mencerna makanan dibantu oleh bakteri selulolitik.

## **H. Pengelolaan Lingkungan Domestikasi**

Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya yang mempengaruhi alam..

Perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup merupakan salah satu upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup dan mencegah terjadinya pencemaran atau kerusakan lingkungan hidup yang meliputi perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan, dan penegakan hukum (PP Nomor 22 Tahun 2021). Pengelolaan lingkungan difokuskan pada pengelolaan lingkungan domestikasi *T. navalis* yang didasarkan pada konsep budidaya. Salah satu usaha konkrit untuk menata, memanfaatkan, memelihara, mengawasi, mengendalikan, memulihkan dan mengembangkan lingkungan disebut dengan pengelolaan lingkungan hidup.

Kesadaran akan pentingnya menjaga lingkungan hidup yaitu dengan memelihara komponen lingkungan agar tidak rusak dan selalu berkelanjutan sehingga untuk mewujudkannya harus didasarkan pada ekologi. Penekanan ekologis menjadi perhatian khusus untuk lingkungan yang keberkelanjutan (Effendi, et al., 2018). Perencanaan pengelolaan dan pemanfaatan lingkungan mangrove di Provinsi Maluku Utara khususnya Kabupaten Halmahera Timur merupakan salah satu proses upaya mengendalikan kegiatan ekologi yang dapat menjamin keutuhan lingkungan dengan karakteristik pengelolaan kawasan pesisir yang baik. Mangrove di Kabupaten Halmahera Timur sangat potensial dan memiliki luas 5.389 hektar. Kawasan tersebut masih bersifat alami, salah satunya adalah keanekaragaman fauna (Akbar, et al., 2018). Lingkungan bervegetasi mangrove perlu dikelola dan dikembangkan secara baik terutama untuk aspek karakteristik bioekologi serta hubungannya dengan keberlangsungan hidup organisme yang menjadikan mangrove sebagai tempat hidup (Irsadi, et al., 2019).

**SEKOLAH PASCASARJANA**