

BAB II

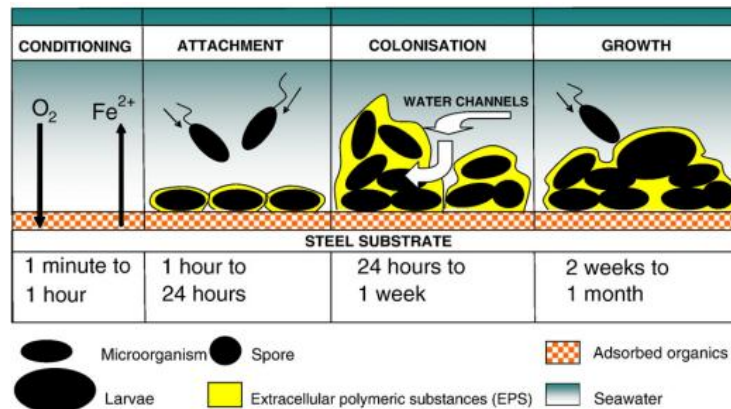
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 *Biofouling*

Biofouling adalah kumpulan mikroorganisme berupa tumbuhan, alga, atau binatang (teritip, bryozoa, dan kerang) yang menempel pada permukaan basah kapal (Yusim, 2016). *Biofouling* pada substrat keras biasanya bersifat menempel dan mengebor, sedangkan yang hidup pada substrat lunak umumnya tinggal di permukaan maupun di antara partikel substrat (Toreh, 2018). Umumnya hal tersebut merupakan proses alami, namun sifat dari *biofouling* yang berkoloni di instalasi buatan manusia dapat merubah struktur permukaan lambung kapal (Rittchhof, 2001).

Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki iklim tropis dan memiliki banyak spesies biofouling yang berbeda. *Biofouling* terbagi dalam dua kategori: kategori pertama, dikenal sebagai biofilm, meliputi organisme mikrofouling seperti bakteri dan diatom. Kategori kedua, disebut makrofouling, meliputi spesies rumput laut, teritip, remis, cacing polikaeta, dan bryozoa (Cao et al., 2011). Pertumbuhan *biofouling* diawali dengan terbentuknya biofilm pada permukaan kapal yang tercelup dengan air laut. Pada awalnya terdiri atas molekul organik dan bakteri, film selanjutnya didukung oleh mikroorganisme lain dan hewan yang lebih besar seperti tiram dan teritip (Yusim, 2016).



Gambar 2. 1 Proses Pembentukan *Biofilm* Mikroba pada Permukaan Baja

Menurut Curtin (1985), diperkirakan bahwa ketebalan lapisan *biofouling* 200 μm pada lambung kapal dapat mengurangi kecepatan sebesar 20%. *Biofouling* juga mempercepat degradasi permukaan atau struktur tempat dimana *biofouling* tersebut berkembang. Hilangnya kemampuan manuver juga merupakan akibat yang paling sering terjadi akibat pertumbuhan *biofouling* (Subbaiyan et al., 2023). Peningkatan dari penggunaan bahan bakar akan melepaskan gas rumah kaca ke atmosfer dan merusak ekosistem. Jika permasalahan ini diabaikan maka akan berdampak negatif baik bagi perekonomian maupun lingkungan.

2.1.2 Dampak *Biofouling* terhadap Sektor Pertahanan Laut

Biofouling tidak hanya menyebabkan kerugian bagi lingkungan dan ekonomi, *biofouling* juga memberi dampak signifikan terhadap sektor pertahanan laut. *Biofouling* dapat menimbulkan gangguan pada kinerja sensor bawah laut, seperti sonar, yang memiliki peran strategis dalam sistem deteksi kapal selam dan ranjau laut. Permukaan sensor yang tertutup oleh lapisan biofilm atau organisme laut dapat menurunkan kualitas sinyal akustik dan mengurangi keakuratan deteksi, sehingga efektivitas sistem pertahanan bawah permukaan turut berpengaruh (Office of Naval Research, 2009). Penelitian oleh Schultz et al, (2011) menunjukkan bahwa kapal militer kelas Arleigh

Burke mengalami peningkatan konsumsi bahan bakar kapal hingga 40% akibat *biofouling*, hal tersebut berdampak pada pembengkakan biaya operasional serta berkurangnya jangkauan tempur kapal perang. *Biofouling* tidak hanya menurunkan kinerja sistem kelautan, tetapi juga berpotensi sebagai media penyebar spesies invasif antarwilayah.



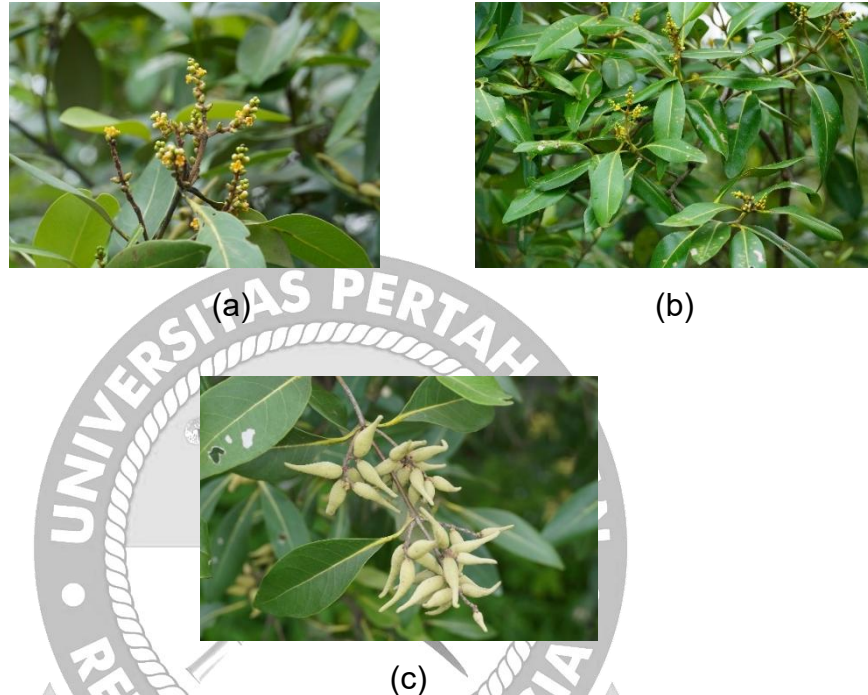
Gambar 2. 2 *Biofouling* pada Lambung Kapal

Luoma et al, (2021) mencatat bahwa kapal militer yang beroperasi lintas perairan dapat membawa organisme fouling ke ekosistem lain dan menyebabkan gangguan ekologis yang signifikan. Upaya mitigasi *biofouling* pada sektor militer dan industri maritim memerlukan solusi antifouling yang efektif juga ramah lingkungan. Pendekatan yang sedang dikembangkan adalah pemanfaatan senyawa bioaktif dari tumbuhan mangrove, seperti *Avicennia alba*, sebagai alternatif pengganti cat antifouling berbahan kimia berbahaya.

2.1.3 Tumbuhan Api-api (*Avicennia alba*)

Avicennia alba merupakan salah satu spesies tanaman mangrove dari genus *Avicennia*, yang biasa tumbuh di tepi pantai atau di sekitar muara sungai, dimana tanahnya berlumpur dan terendam saat air pasang. Tanaman ini tumbuh menyebar dengan ketinggian mencapai 25 m, dengan akar nafas tipis dan berbentuk jari yang ditutupi oleh lentisel (Syah, 2017). Tanaman ini dapat tumbuh pada daerah dengan kadar salinitas yang tinggi yakni disepanjang pinggiran

sungai dan garis pantai yang dipengaruhi oleh pasang surut (Noor et al., 1999).



Gambar 2. 3 Tanaman api-api (*Avicennia alba*): (a) Kuncup bunga, (b) Daun, (c) Buah.

Menurut Plantamor (2017), klasifikasi taksonomi *Avicennia alba* adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionata
Superdivisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Subkelas	: Asteridae
Ordo	: Lamiales
Famili	: Verbenaceae
Genus	: <i>Avicennia</i>
Spesies	: <i>Avicennia alba</i>

Avicennia alba merupakan pohon yang tumbuh menyebar dengan ketinggian mencapai 25 m. Kumpulan pohon membentuk sistem perakaran horizontal dan akar nafas yang rumit. Akar nafas biasanya tipis, berbentuk jari yang ditutupi oleh lentisel. Kulit kayu berwarna keabu-abuan atau gelap kecoklatan, beberapa ditumbuhi tonjolan kecil, sementara yang lain kadang-kadang memiliki permukaan yang halus. Bagian batang yang tua, kadang-kadang ditemukan serbuk tipis (Noor et al., 2006). Berdasarkan hasil uji fitokimia yang dilakukan oleh Erwim (2020), menunjukkan bahwa ekstrak bagian tumbuhan bakau api-api mengandung senyawa antibakteri yang bersifat penting dalam meningkatkan sifat *antifouling*.

2.1.4 Komponen Kimiawi

Tumbuhan api-api (*Avicennia alba*) mengandung berbagai senyawa kimiawi yang memiliki potensi sebagai bahan *antifouling* alami. Tanaman api-api mengandung senyawa bioaktif saponin, flavonoid, alkaloid, dan tanin yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba dikarenakan adanya aktivitas antioksidan (Rusadi et al., 2019). Berdasarkan hasil dari penelitian Erwim et al (2020) menyatakan bahwa ekstrak mangrove jenis *Avicennia alba* dapat menghambat pertumbuhan bakteri karena mengandung aktivitas antibakteri.

Lebih dari 6500 senyawa flavonoid yang telah diisolasi dan diidentifikasi dari tumbuhan, banyak diantaranya yang bermanfaat bagi kesehatan manusia dan bisa dikembangkan dalam pengobatan modern karena memiliki aktifitas seperti antioksidan, antiinflamasi, anti virus, anti bakteri, dan lain-lain (Arung et al., 2009). Senyawa metabolit sekunder tersebut merupakan senyawa kimia yang mempunyai kemampuan bioaktifitas dan berfungsi sebagai pelindung tumbuhan tersebut dari gangguan hama penyakit untuk tumbuhan itu sendiri atau lingkungannya (Lenny, 2006).

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Adapun ringkasan penelitian-penelitian terdahulu yang relevan sehingga dapat dijadikan sumber referensi terkait kajian dalam penelitian ini, serta perbandingan dengan penelitian yang akan dilakukan, dapat diamati pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu mengenai Pemanfaatan Ekstrak Mangrove Sebagai *Antifouling*

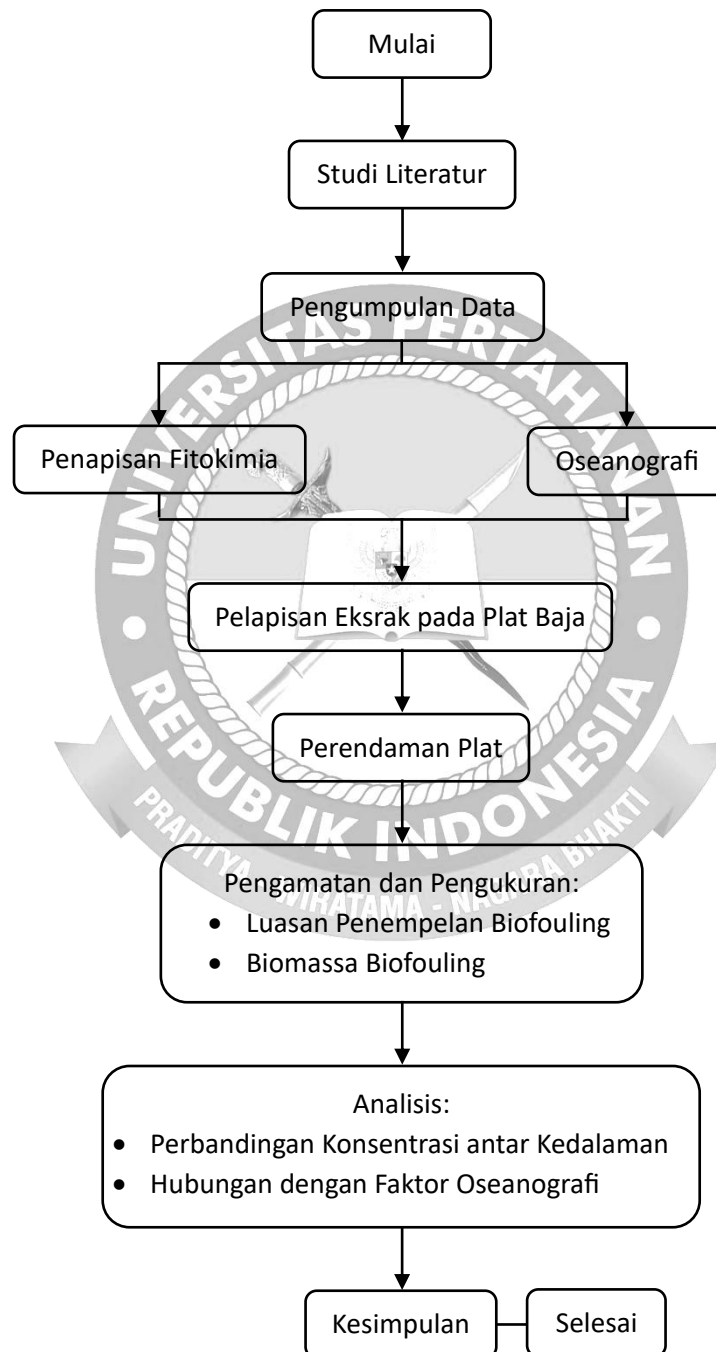
No.	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Kesimpulan Penelitian	Perbedaan	Sumber
1.	Aktivitas <i>Antifouling</i> <i>Avicennia marina</i> Terhadap Macrofouler <i>Perna viridis</i>	Mengetahui aktivitas hambat ekstrak mangrove <i>Avicennia marina</i> terhadap <i>Perna viridis</i> .	Ekstrak <i>Avicennia marina</i> tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap pelekatan <i>Perna viridis</i> . Namun dari produksi <i>byssus</i> diketahui bahwa <i>Avicennia marina</i> menghambat produksi <i>byssus</i> <i>Perna viridis</i> kurang dari 50 helai dibandingkan dengan kondisi normal.	Bahan dan Metode	(Cahyaningtyas et al., 2017)
2.	Skrining Fitokimia dan Bioaktivitas Tumbuhan Bakau	Mengidentifikasi kandungan fitokimia dan mengevaluasi	Ekstrak batang, kulit batang, dan daun bakau api-api putih, mengandung Flavonoid, Kuinon,	Metode	(Erwin et al., 2020)

	Api-Api Putih (<i>Avicennia alba</i> Blume)	potensi bioaktivasi tumbuhan bakau api-api putih (<i>Avicennia alba</i> Blume).	Alkaloid, Fenolik, sedangkan steroid hanya terkandung dalam ekstrak kulit batang.		
3.	Low Barnacle Fouling on Leaves of The Mangrove Plant <i>Sonneratia apetala</i> and Possible Anti-Barnacle Defense Strategies	Menyelidiki Tingkat <i>fouling</i> teritip pada daun tanaman mangrove <i>Sonneratia apetala</i> dan mengeksplorasi strategi pertahanan anti-teritip yang mungkin dimiliki.	Tingkat <i>fouling</i> teritip pada daun <i>Sonneratia apetala</i> ditemukan sangat rendah. Pada daun <i>Sonneratia apetala</i> mengandung konsentrasi tinggi senyawa fenolik dan tannin.	Bahan dan Metode	(Feng, Dan-qing, et al, 2016)
4.	Uji Ekstrak Daun Ketapang (<i>Terminalia catappa</i>) Sebagai Bahan <i>Antifouling</i> Alami Pada Plat	Mengetahui pengaruh konsentrasi ekstrak daun Ketapang terhadap luasan penempelan dan biomassa organisme	Ekstrak etanol daun <i>T. catappa</i> mengandung berbagai senyawa yang terbukti efektif sebagai bahan <i>antifouling</i> , dengan penurunan luasan penempelan <i>biofouling</i> seiring peningkatan konsentrasi.	Bahan	(Amin, M.K, 2017)

	Baja Di Perairan PT DOK Dan Perkapalan Surabaya	<i>biofouling</i> pada substrat uji baja.	Hasil ini menunjukkan potensi ekstrak daun <i>T. catappa</i> sebagai agen <i>antifouling</i> yang efektif.		
--	---	---	--	--	--



2.3 Kerangka Berpikir



Gambar 2. 4 Kerangka berpikir