



TUGAS AKHIR- SB141510

**UJI EKSTRAK DAUN KETAPANG (*Terminalia catappa*)
SEBAGAI BAHAN ANTIFOULING ALAMI
PADA PLAT BAJA DI PERAIRAN PT DOK DAN
PERKAPALAN SURABAYA**

**MUHAMMAD KHOIRUL AMIN
NRP.1511100006**

**Dosen Pembimbing
Farid Kamal Muzaki, S.Si., M.Si**

**DEPARTEMEN BIOLOGI
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - SB141510

**UJI EKSTRAK DAUN KETAPANG (*Terminalia catappa*)
SEBAGAI BAHAN ANTIFOULING ALAMI
PADA PLAT BAJA DI PERAIRAN PT DOK DAN
PERKAPALAN SURABAYA**

**MUHAMMAD KHOIRUL AMIN
NRP.1511100006**

Dosen Pembimbing
Farid Kamal Muzaki, S.Si., M.Si

**DEPARTEMEN BIOLOGI
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT- SB141510

**TEST OF SEA-ALMOND (*Terminalia catappa*) LEAF
EXTRACT AS ANTIFOULING NATURAL PRODUCT ON
STEEL PLATE IN PT DOK DAN PERKAPALAN,
SURABAYA**

**MUHAMMAD KHOIRUL AMIN
1511100006**

**Advisor Lecturer
Farid Kamal Muzaki, S.Si., M.Si**

**BIOLOGY DEPARTMENT
Faculty of Mathematics And Nature Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

UJI EKSTRAK DAUN KETAPANG (*Terminalia catappa*)
SEBAGAI BAHAN ANTIFOULING ALAMI PADA PLAT
BAJA DI PERAIRAN PT DOK DAN PERKAPALAN
SURABAYA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains pada
Departemen S-1 Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD KHOIRUL AMIN
NRP. 1511100006

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Farid Kamal Muzaki, S.Si., M.Si...... (Pembimbing I)
Surabaya, 28 Juli 2017

Mengetahui,
Kepala Departemen Biologi



Hidayati, S.Si., M.Si
NRP. 19691121 19982 2 001 #

UJI EKSTRAK DAUN KETAPANG (*Terminalia catappa*)
SEBAGAI BAHAN ANTIFOULING ALAMI PADA PLAT
BAJA DI PERAIRAN PT. DOK DAN PERKAPALAN
SURABAYA

Nama : Muhammad Khoirul Amin
NRP : 1511 100 006
Jurusan : Biologi
Dosen Pembimbing : Farid Kamal Muzaki, S.Si, M.Si

Abstrak

Pengembangan cat antifouling yang ramah lingkungan menjadi solusi untuk mengatasi pertumbuhan biofouling. Beberapa zat alami yang diketahui memiliki efek sebagai antifouling adalah alkaloid, tanin, terpenoid dan steroid. Daun Terminalia catappa diketahui memiliki kandungan zat alami tersebut, sehingga dimungkinkan dapat menjadi alternatif bahan antifouling. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah bahan alami daun T. catappa dapat digunakan sebagai bahan cat antifouling. Ekstraksi zat alami dari daun T.catappa dilakukan dengan cara maserasi. Hasil ekstraksi daun T. catappa dibagi menjadi lima macam konsentrasi kemudian ditambahkan kedalam cat finising sebagai bahan antifouling. Plat baja kemudian direndam selama 28 hari dengan kedalaman 30cm dari permukaan laut. Parameter yang diamati adalah biomassa biofouling dan luasan penempelan biofouling. Perbedaan biomassa dan luasan penempelan sebagai pengaruh dari konsentrasi ekstrak dianalisis menggunakan ANOVA (Analysis of Variance) One Way pada taraf kepercayaan 95% dan Tukey's HSD Test untuk uji lanjutan. Hubungan antara biomassa biofouling dan luasan penempelan biofouling dianalisis dengan uji regresi linear. Uji skrining fitokimia menunjukkan ekstrak daun T. catappa memiliki senyawa alkaloid, tannin, terpenoid, dan steroid. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun T. catappa memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap luasan penempelan dan biomassa

biofouling. Luasan penempelan memiliki pengaruh signifikan terhadap biomassa biofouling ($p < 0,005$)

Kata Kunci : Biofouling, Ekstrak Daun T. catappa., Plat Baja, Senyawa Antifouling.

TEST OF SEA-ALMOND (*Terminalia catappa*) LEAF
EXTRACT AS ANTIFOULING NATURAL PRODUCT ON
STEEL PLATE, IN PT DOK DAN PERKAPALAN,
SURABAYA

Student Name : **Muhammad Khoirul Amin**
NRP : **1511 100 006**
Department : **Biologi**
Advisor Lecture : **Farid Kamal Muzaki, S.Si, M.Si**

Abstract

The development of an environmentally friendly antifouling paints as solution to address the growth of biofouling. Some natural substances known to have effect as antifouling are alkaloids, tannins, terpenoids, and steroids. *T. catappa* leaves contain that substances, so it is possible to be an alternative antifouling materials. This study aims to determine whether natural materials from *T. catappa* leaves can be used as an antifouling paint. Extraction of natural substances from the leaves *T.catappa* done by maceration. The extract of the *T. catappa* leaves divided into five kinds of concentrations and then added to finishing paint as antifouling material. Test plate is then immersed for 28 days at a depth of 30 cm from the sea surface. Parameters measured were biofouling biomass and biofouling coverage attachment area. Differences in biomass and the extent of adhesion as the effect of the extract concentration analyzed using ANOVA (Analysis of Variance) One Way at a level of 95% and Tukey's HSD Test for further tests. The relation between biofouling biomass and biofouling coverage attachment area are tested with a linear regression. The phytochemical screening test showed that *T. catappa* leaf extract had alkaloid, tannin, terpenoid, and steroid compounds. The results showed that *T. catappa* leaf extract gave significant effect ($p < 0,005$) to the biofouling coverage attachment area and biomass. The coverage attachment area have significant influence on biomass biofouling ($p < 0.005$)

Keywords: Biofouling, , *T. catappa* Leave Extract, Steel Plate, Antifouling Substances

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis diberikan kelancaran dan kemudahan dalam penulisan Tugas Akhir yang berjudul **Uji Ekstrak Daun Ketapang (*Terminalia catappa*) sebagai Bahan Antifouling Alami pada Plat Baja di Perairan PT DOK dan Perkapalan Surabaya**. Proses penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dorongan dan bimbingan dari pihak-pihak terkait sehingga kendala yang muncul dapat dihadapi dan diselesaikan.

Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Farid Kamal Muzaki S.Si. M.Si., selaku dosen pembimbing, yang selalu memberikan bimbingan, saran dan dukungan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir. Tak lupa penulis mengucapkan terima kasih Ibu Wirdatul Muslihatin, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji satu dan Bapak Aunurohin, S.Si., DEA selaku dosen penguji dua yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis demi terciptanya kesempurnaan Tugas Akhir ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Ayahanda Abdul Rouf dan Ibunda Alimah atas segala doa restu dan seluruh pihak yang membantu.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari ideal. Saran dan kritik membangun akan sangat berarti bagi penulis. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat kepada para pembacanya.

Surabaya, 28 Juli 2017

Muhammad Khoirul Amin

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan	3
1.3 Batasan masalah.....	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Biofouling.....	5
2.1.1 Proses Pembentukan Biofouling.....	5
2.1.2 Faktor yang Mempengaruhi Biofouling.....	9
2.1.3 Permasalahan akibat biofouling.....	12
2.2 Metode Penanggulangan Akibat Biofouling	15
2.2.1 Secara Biologi.....	15
2.2.2 Secara Fisik.....	16
2.2.3 Secara Kimiawi.....	17
2.3 Cat Antifouling	18
2.4 Produk Alami Antifouling	19
2.5 Ketapang (<i>Terminalia catappa</i>)	18
2.6 Ekstraksi	19

BAB III METODOLOGI	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2. Metode yang Digunakan.....	27
3.2.1 Preparasi Panel Uji.....	27
3.2.2 Ekstraksi Saun Ketapang	28
3.2.3 Pengecatan dan Penambahan Ekstrak.....	29
3.2.4 Proses Pemasangan Panel Uji.....	29
3.2.5 Pengukuran Luasan Penempelan dan Biomassa	30
3.2.6 Pengukuran Faktor Fisik Kimia Perairan	31
3.2.7 Analisis Data	32
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Kondisi Umum Perairan	35
4.2. Analisis Fitokimia Ekstrak Daun Ketapang.....	37
4.3. Pengaruh Ekstrak <i>T. catappa</i> terhadap Biofouling	39
4.3.1 Luasan Penempelan Biofouling	39
4.3.2 Biomassa Biofouling.....	44
4.3.3 Luasan Penempelan terhadap Biomassa Biofouling....	47
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
3.1 Kesimpulan	49
3.2. Saran.	49
 DAFTAR PUSTAKA.....	 51
LAMPIRAN.....	61
BIODATA PENULIS	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hewan Laut yang menempel pada substrat	6
Gambar 2.2	Struktur waktu penempelan biofouling.....	8
Gambar 2.3	Biofouling yang ditemui pada lambung kapal (Yebra et al, 2004).....	11
Gambar 2.4	Teritip menghancurkan cat antikorosi.....	13
Gambar 2.5	Biofouling yang umum ditemui pada budidaya perairan.....	14
Gambar 2.6	Morfologi Ketapang	21
Gambar 3.1	Lokasi penelitian.....	27
Gambar 3.2	Dimensi plat uji	28
Gambar 4.1	Luas penempelan biofouling setelah 28 hari perendaman.....	40
Gambar 4.2	Teritip ditemui menempel secara berkelompok.....	41
Gambar 4.3	Penambahan luasan biofouling pada konsentrasi 100 ppm selama 28 hari perlakuan.....	43
Gambar 4.4	Biomassa biofouling setelah 28 hari pengamatan.....	45
Gambar 4.5	Tanda dari pelepasan teritip	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Syarat cat <i>antifouling</i> yang optimal (Chamber, 2002).....	17
Tabel 2.2	Beberapa bahan alam yang diketahui berpotensi sebagai antifouling	19
Tabel 2.3	Berat dari berbagai fraksi dan konstituen fitokimia pada ekstrak daun ketapang.....	21
Tabel 2.4	Kelebihan dan kelemahan Maserasi (Soebagio, 2005 dan Kerans, 2010).....	25
Tabel 3.1	Kategori persentase (%) penutupan menurut Zhu & Huang (2004).....	31
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Parameter Lingkungan..	35
Tabel 4.2	Perbandingan hasil uji fitokimia.....	38
Tabel 4.3	Hasil Uji One Way untuk faktor luas penempelan.....	44
Tabel 4.4	Hasil Uji One Way untuk faktor biomassa biofouling.....	46
Tabel 4.5	Hasil Uji Regresi Linear Sederhana luas penempelan terhadap biomassa.....	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Dokumentasi Penelitian.....	61
Lampiran 2	Hasil Perhitungan Luasan Penempelan Biofouling.....	63
Lampiran 3	Hasil Perhitungan Biomassa Biofouling.....	65
Lampiran 4	Hasil ANOVA One Way Konsentrasi terhadap Luas Penempelan Biofouling.....	67
Lampiran 5	Hasil ANOVA One Way Konsentrasi terhadap Biomassa Biofouling.....	70
Lampiran 6	Hasil Analisis Regresi Linear Faktor Luas Penempelan Biofouling terhadap Biomassa Biofouling.....	73
Lampiran 7	Hasil Skrining Fitokimia Eksrtrak Ethanol Daun Ketapang (<i>T. catappa</i>).....	77
Lampiran 8	Siklus Hidup Teritip <i>B. amphritite</i>	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ekosistem laut memiliki berbagai sumberdaya hayati yang menjadi penyusun struktur biota didalamnya. Beberapa diantaranya adalah biota yang hidupnya menempel pada substrat (Ruslan, 2014). Penempelan biota tersebut tidak hanya terjadi pada substrat alami, tetapi dapat juga terjadi pada berbagai sarana kepentingan manusia yang terendam di laut seperti kapal dan bangunan pantai. Penempelan yang tidak diinginkan pada struktur buatan manusia tersebut menimbulkan pengotoran biologis yang sering disebut sebagai biofouling (Sukardjono, 1988 *dalam* Jefrianto, 2012).

Pertumbuhan biofouling memberikan efek merugikan pada kegiatan pelayaran kapal, *heat exchangers*, anjungan lepas pantai, dermaga, keramba budidaya, dan stuktur terendam lainnya (Jing Yang *et al*, 2014). Pada industri pelayaran kapal pertumbuhan biofouling pada lambung kapal menyebabkan meningkatnya daya hambat kapal, yang akan menyebabkan peningkatakan bahan bakar, peningkatan intensitas *dry-docking*, dan peningkatan emisi gas rumah kaca. Biaya total yang dibutuhkan dalam sekali berlayar juga dapat meningkat hingga sebesar 77%. (Chambers *et al*, 2006); (Ala *et al*, 2012); (Palanisamy *et al*, 2014) (David *et al*, 2014). Pertumbuhan biofouling juga memfasilitasi pembentukan korosi pada logam yang dapat menyebabkan kerusakan struktur (Chambers *et al*, 2006). Lebih lanjut, pembentukan biofouling juga meningkatkan potensi penyebaran spesies asing invasif (Palanisamy *et al*, 2014).

Permasalahan terkait biofouling tersebut mendorong pengembangan cat antifouling. Secara tradisional, dalam cat antifouling ditambahkan bahan berbahaya seperti tembaga dan TBT menjadi matriks yang secara bertahap larut dari lapisan permukaan untuk mencegah penempelan biofouling. Namun,

senyawa tersebut (khususnya TBT) dilaporkan menjadi sangat beracun dan *persistent* dalam lingkungan laut, dan terbukti memiliki efek buruk pada organisme non-target (Perez *et al.*, 2009) selain itu, TBT juga dilaporkan menyebabkan deformasi cangkang pada tiram dan perubahan kelamin (*imposex*) pada gastropoda (IMO, 2002). Penelitian yang dilakukan Sudaryanto *et al.* (2001) membuktikan terjadinya akumulasi bahan TBT pada sedimen perairan di Indonesia dan menyebabkan terjadinya *imposex* pada gastropoda laut betina karena dapat menyebabkan penyumbatan pada saluran pengeluaran telur.

Meningkatnya kesadaran akan dampak yang dihasilkan dari penggunaan cat antifouling berbahaya (seperti ditambahkan TBT) mendorong penelitian dan pengembangan untuk mencari bahan antifouling alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti menggunakan senyawa hasil alam (*Natural Product Antifoulant* atau NPA) (Ananda, 2010); (Cuili *et al.*, 2014). Senyawa hasil alam (produk dari tumbuhan dan/atau hewan) merupakan alternatif terbaik untuk menggantikan cat antifouling berbahaya karena lebih ramah lingkungan, secara ekologi dapat diterima dan tersedia melimpah. Bahan antifouling dapat diperoleh dari bahan alami karena adanya sifat antibakteri dan/atau antimikroba (Lim, 2006); (Miriam *et al.*, 2006).

Bahan alam yang dilaporkan memiliki kemampuan sebagai antifouling adalah terpenoid, tanin, dan steroid. Beberapa penelitian menggunakan bahan alam tersebut sebagai antifouling diantaranya adalah penelitian Idora *et al.* (2015) membuktikan tanin mangrove *Rhizophora apiculata* memiliki efek antifouling dan dapat menghambat pertumbuhan biofouling pada permukaan logam bahkan pada konsentrasi rendah sekalipun. Penelitian Natalia *et al.* (2012) juga menunjukkan bahwa tanin dari *Caesalpinia spinosa* dapat digunakan sebagai zat antifouling. Selain itu. Pada penelitian lain ekstrak terpenoid dan steroid dari *Agelas tubulata* dan *Holothuria glaberrima* juga efektif sebagai antifouling (Marisol *et al.*, 2013). Bahan alam lain yang juga dapat

berpotensi sebagai antifouling adalah alkaloid, terpenoid, flavonoid, tanin, dan saponin pada kulit *Durio zibethinus* (Kurniawan & Aunurohim, 2016).

Terminalia catappa atau ketapang memiliki distribusi yang luas di daerah tropis dan subtropis. Daun ketapang dilaporkan memiliki beberapa senyawa aktif yang dapat digunakan sebagai antifungi dan antimikroba. Beberapa senyawa tersebut diantaranya adalah steroid, tanin dan terpenoid (Packirisamy & Khrisnamorthi, 2012). Selain itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Manzur *et al.*, (2011) menyebutkan bahwa ekstrak daun *T. catappa* mampu menghambat 70% bakteri gram positif dan 63 % bakteri gram negatif. Berdasarkan hal tersebut ekstrak daun ketapang dimungkinkan memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan biofouling sehingga diperlukan uji untuk mengetahuinya. Uji lapangan adalah salah satu cara untuk mengetahui potensi suatu senyawa antifouling, caranya adalah dengan mencampurkan ekstrak yang diduga mengandung zat antifouling dengan cat.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan uji untuk melihat pengaruh dari ekstrak daun ketapang sebagai senyawa antifouling yang dicampur pada cat dekoratif. Substrat uji yang digunakan adalah material baja yang sering menjadi tempat penempelan organisme biofouling. Uji lapangan dari pengaruh campuran ekstrak daun ketapang terhadap biomassa dan luasan penempelan organisme penyebab biofouling pada substrat baja dilakukan pada perairan PT Dok dan Perkapalan, Surabaya.

1.2 Rumusan Permasalahan

Permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah ekstrak daun ketapang memberikan pengaruh terhadap luasan penempelan dan biomassa biofouling?

2. Berapa konsentrasi dari ekstrak daun ketapang yang efektif dalam mengurangi luasan penempelan dan biomassa biofouling?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Biofouling yang diamati adalah makrofouling.
2. Pengaruh ekstrak daun ketapang terhadap luasan penempelan dan biomassa makrofouling.
3. Konsentrasi ekstrak daun ketapang yang digunakan adalah 0 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, dan 100 ppm.
4. Perendaman panel baja dilakukan selama dua puluh delapan (28) hari.
5. Metode ekstraksi yang digunakan adalah maserasi dengan pelarut etanol 96%.

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh konsentrasi ekstrak daun ketapang terhadap luasan penempelan dan biomassa organisme biofouling pada substrat uji baja yang ditenggelamkan di perairan PT Dok dan Perkapalan Surabaya.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai langkah awal untuk mencari senyawa antifouling dari bahan ramah lingkungan, yakni daun ketapang untuk menggantikan senyawa antifouling berbahan kimia seperti Tributiltin (TBT).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biofouling

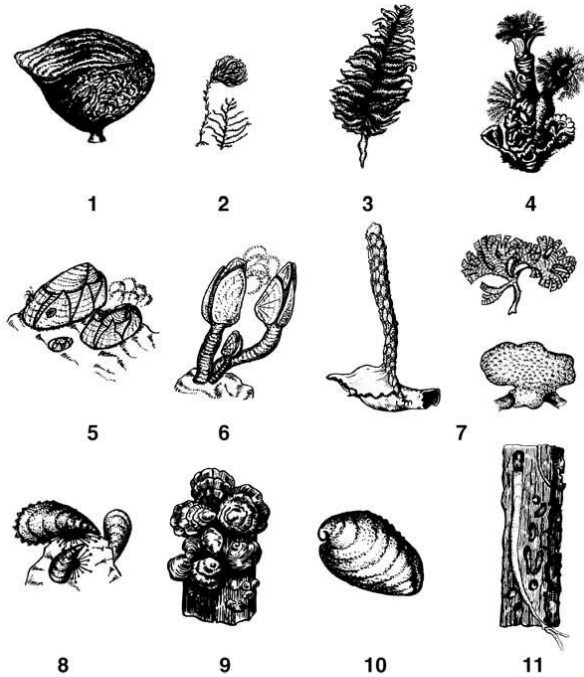
Secara umum biofouling adalah penempelan dan pertumbuhan organisme pada permukaan benda atau material yang terbenam di laut. Organisme ini dapat saja melekat sementara maupun permanen pada permukaan material yang ditempelinya (Budiharta, 2009). Istilah ini biasanya mengacu pada organisme stasioner makroskopik seperti makroalga, teritip, kerang, dan sejenisnya. Namun biofouling juga terjadi sangat cepat pada skala mikroskopis. Sehingga, biofouling dapat dibagi menjadi 2, yaitu mikrofoouling yaitu pembentukan biofilm (kolonisasi bakteri dan mikroalga) dan makrofoouling yaitu penempelan makroorganisme (kolonisasi avertebrata dan makroalga) yang bersifat merusak (Raiklin, 2004).

Hellio (2009); Chapman *et al* (2014), membagi kategori dari biofouling menjadi tiga kategori: (a) *microfoulers*, yaitu meliputi bakteri, diatom, jamur, dan mikroalga; (b) *soft macrofoulers* atau biasanya terdiri dari makroalga; dan (c) *hard macrofoulers* contohnya: teritip, kerang, cacing pipa, dan bryozoa. Kelompok biofouling yang umum ditemukan antara lain: moluska, teritip, bryozoa, tunicata, decapoda, krustasea, hidroid dan anthozoa. Tiga kelompok pertama merupakan organisme yang paling banyak dan paling besar jumlahnya, sedangkan selebihnya tidak terlalu signifikan (Dharmaraj *et al*, 1987).

2.1.1 Proses pembentukan biofouling

Proses pembentukan biofouling diketahui terdiri dari beberapa tahapan yaitu: akumulasi material organik, penempelan dan pertumbuhan bakteri yang membentuk biofilm, dan suksesi dari mikrofoouler dan makrofoouler (Chambers *et al*, 2006). Secara sederhana dapat diilustrasikan seperti pada gambar 2.2. Fase awal biofouling dimulai dengan interaksi fisik seperti interaksi elektrostatis, gerak Brown dan Van der Waals' *force* yang diikuti dengan proses adhesi molekul organik seperti protein, polisakarida,

glikoprotein, proteoglikan serta beberapa molekul anorganik. Proses adhesi molekul berlangsung dalam hitungan detik dibawah permukaan air (Callow,2002).



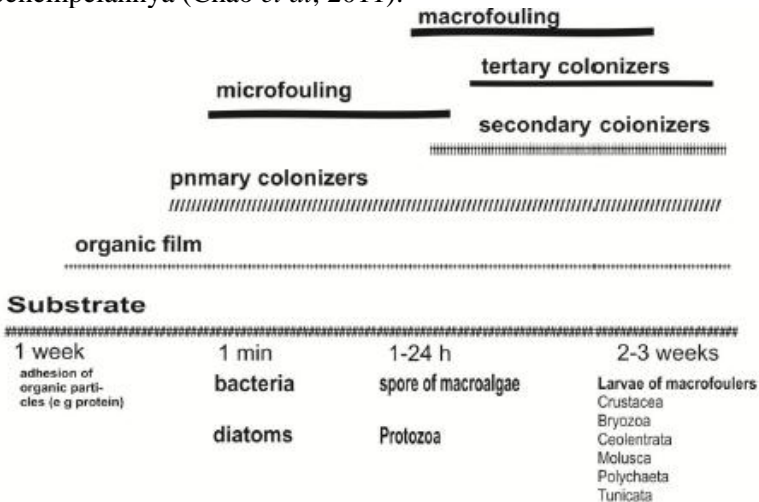
Gambar 2.1. Hewan laut yang menempel pada substansi keras : (1) Sponge; (2) hydroid polyp; (3) coral sea pen; (4) polychaetes; (5) acorn barnacles, Balanus; (6) goose barnacles; 7. bryozoans; (8–10) moluska: (8) mussel *Mytilus*; (9) oyster *Ostrea*; (10) abalone *Haliotis*; (11) shipworm *Teredo navalis* dan lubang yang dibentuk pada tiang kayu (Railkin, 2004).

Mikrofoouling uniseluler maupun multiseluler mulai menempel dikisaran waktu 1-24 jam. Penempelan mikroorganisme pada substrat didorong oleh reaksi fisik, seperti interaksi elektrostatis (7), gravitasi (8) gerak Brown, sedimentasi, dan *convective transport*. Selain itu, mikroorganisme juga dapat secara aktif mencari substrat dengan menggunakan organ penggerak seperti flagela. Bakteri kemudian men-sekresikan *Extracellular Polymeric Substances* (EPS) untuk menyelubungi sel-nya dan mempertahankan penempelan pada substrat, akibat dari terbentuknya EPS tersebut struktur kimia lingkungan pada permukaan substrat berubah dan mendorong penempelan dan pertumbuhan organisme lain. Biofilm yang dihasilkan merupakan massa dari mikroorganisme dan EPS yang dapat mendorong adanya interaksi enzimatik, pertukaran nutrisi, menyediakan perlindungan terhadap stres lingkungan dan resistensi terhadap biosida (Chambers *et al*, 2006). Setelah biofilm mengalami maturasi, sel bakteri akan dilepaskan ke dalam lingkungan perairan yang kemudian akan membentuk koloni baru di tempat lain, dan menginisiasi proses biofouling kembali (Chao *et al*, 2011).

Setelah pembentukan dan perkembangan biofilm terjadi, selanjutnya larva dan/atau spora dari makrofoouler akan menempel pada permukaan substrat. Setelah kurang lebih 2-3 minggu, larva atau spora tersebut akan berkembang menjadi komunitas biologi yang lebih kompleks (Chao *et al*, 2011). Larva atau spora yang menempel tersebut umumnya berasal dari hewan dan tumbuhan yang secara alami hidup menempel (*sessil*) di sekitar lokasi bangunan pada substrat seperti karang dan lain-lain (Raiklin, 2005). Dalam lingkungan perairan laut biasanya penempelan dari makrofoouler akan terjadi setelah terbentuknya biofilm. Namun, hal tersebut tidak selalu terjadi demikian. Misalnya, beberapa spesies larva bryozoa, polychaetes, dan beberapa biofoouler lainnya menempel sebelum terjadinya pembentukan biofilm (Chao *et al*, 2011).

Proses penempelan makrofoouling dapat dibagi menjadi dua (2) proses yaitu; penempelan sementara, dan penempelan permanen.

Teritip dan makroalga jenis *Ulva* sp. menjadi representative dari invertebrata dan makroalga penyebab biofouling. Selain itu, kedua organisme tersebut juga merupakan makrofoouling yang sangat umum dijumpai dan sudah diketahui dengan baik proses penempelannya (Chao *et al*, 2011).



Gambar 2.2. Struktur waktu penempelan *biofouling* pada substrat (Abarzua, 1995).

Pada teritip, larva (*cyprid*) melakukan penempelan sementara untuk mencari substrat yang sesuai untuk menempel secara permanen (Chambers *et al*, 2006). Cyprid memiliki antenule yang terdiri dari empat segmen yang berfungsi untuk merayap pada substrat, menempel pada substrat dan sebagai organ sensor. Saat substrat yang sesuai ditemukan, cyprid akan mensekresikan “semen” yang mengandung konsentrasi protein yang tinggi. Semen ini kemudian akan mengikat organ penempelan dari cyprid dan mengalami pengerasan akibat dari polimerasi protein. Setelah penempelan stabil, cyprid akan mengalami metamorfosis menjadi juvenile, dan akhirnya menjadi teritip dewasa (Chao *et al*, 2011).

Makrofouling lain yang cukup umum diketahui adalah makroalga *Ulva* sp., *Ulva* sp. merupakan salah satu makrofouling penting karena kelimpahannya yang tinggi pada perairan dan dapat beradaptasi dengan mudah pada lingkungan yang berbeda (Chao *et al*, 2011). *Ulva* sp., memiliki penempelan sementara dan permanen dalam siklus hidupnya. Zoospora motil memiliki empat flagella yang digunakan untuk menempel sementara sambil mencari substrat yang sesuai. Saat substrat yang sesuai ditemukan zoospore akan berubah menjadi *immotil* dan mensekresikan glikoprotein, kemudian menarik kembali flagella dan menempel secara permanen. Zoospora yang sudah menempel akan berkembang menjadi individu dewasa yang baru (Chambers *et al*, 2006); (Chao *et al*, 2011).

2.1.2 Faktor yang mempengaruhi biofouling

Panjaitan (2011) dan Triwibisono (2012) menyatakan faktor fisik, kimia, dan biologi menentukan *biofouling* pada substrat, berikut merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi biofouling:

a. Permukaan benda

Faktor fisikokimia pada permukaan benda berupa tekstur, temperatur, hidrofobisitas dan kandungan nutrisi. Larva invertebrata lebih memilih permukaan benda yang kasar daripada halus agar dapat melekat dengan kuat. Permukaan benda halus, licin dan kehadiran zat beracun pada permukaan akan mengurangi jumlah *biofouling*. Menurut dari hasil eksperimen yang dilakukan menunjukkan kepadatan pertumbuhan *biofouling* paling besar hingga terkecil berdasarkan urutannya adalah plat material dari aluminium, kayu dan baja.

b. Biofilm

Biofilm terbentuk akibat interaksi antara bakteri dan substrat. Interaksi tersebut disebabkan faktor berupa kelembaban permukaan, nutrisi yang tersedia, pembentukan matrik ekstraseluler (exopolimer). Bakteri dan mikroorganisme pembentuk biofilm menghasilkan *Extracellular Polymeric Substance* atau yang disingkat EPS yang terdiri dari

polisakarida dan protein (Chambers, 2006). Biofilm mempunyai peranan yang penting sebagai media penempelan dan metamorphosis larva invertebrate.

c. Temperatur

Organisme laut mempunyai sifat poikilotermik (suhu tubuh mengikuti suhu lingkungan), sehingga penyebarannya mengikuti perbedaan suhu laut secara geografik. Suhu di perairan di lingkungan laut berkisar antara $24^{\circ} - 32^{\circ}\text{C}$. *Biofouling* dapat hidup dari perairan dengan perubahan suhu berkisar antara $15-30^{\circ}\text{C}$ atau dari perairan eustarina sampai laut terbuka, iklim tropic sampai dengan iklim sedang.

d. Salinitas

Salinitas adalah jumlah garam terlarut dalam satu liter air, biasanya dalam satuan promil (‰). Air laut umumnya memiliki salinitas yang seragam karena mendekati pencampuran sempurna oleh sirkulasi, namun ada penyimpanan yang signifikan diakibatkan geografis serta vertikal dasar laut. Pada perairan estuaria kadar salinitas dapat mencapai $5-30\text{‰}$ sedangkan laut terbuka berjumlah 41‰ , sedangkan *biofouling* dapat hidup kisaran $10-30\text{‰}$.

e. Gelombang dan arus

Arus yang kuat akan menyebabkan kegagalan penempelan larva invertebrata, sehingga tidak akan berkembang menjadi stadium dewasa. Arus air yang lemah memungkinkan larva untuk menempel pada substrat. Larva invertebrata dapat menempel pada substrat dengan batas maksimum kecepatan arus sekitar $10,3\text{ m/s}$ (meter per sekon).

f. Cahaya dan kecerahan

Cahaya matahari yang jatuh dipermukaan laut akan diserap dan diseleksi oleh air laut, sehingga cahaya merah, ungu, kuning akan hilang akibat panjang gelombang yang panjang. Larva invertebrata lebih banyak ditemukan pada permukaan dibandingkan dengan lapisan dekat dasar, karena larva suka berenang di daerah yang terang daripada di daerah gelap.

Cahaya rendah yang terbaaur akan merangsang pertumbuhan larva.

g. Warna permukaan benda

Warna permukaan benda yang lebih gelap mampu menstimulasi penempelan larva. Warna gelap mampu mengabsorpsi panas lebih besar daripada warna terang (Ring, 2000). Dalam penelitian Azhar (2008) jumlah *biofouling* tertinggi terletak pada plat baja dengan warna cat hitam dan terkecil pada plat baja dengan cat warna biru. Benda yang terendam air laut yang dicat dengan cat antifouling dengan warna yang menyala seperti warna putih atau warna menyilaukan membuatnya tahan terhadap *biofouling*.

h. Pasang surut

Pasang surut (pasut) adalah proses naik turunnya air laut secara hampir periodik karena gaya tarik benda-benda angkasa, terutama bulan dan matahari. Pasut tidak hanya mempengaruhi lapisan di bagian teratas saja, melainkan seluruh massa air. Di perairan pantai, terutama di teluk atau selat yang sempit, gerakan naik turunnya muka air akan menimbulkan terjadinya arus pasang surut. Hal ini berbeda dengan arus yang disebabkan oleh angin yang hanya terjadi pada lapisan tipis di permukaan, arus pasut bisa mencapai lapisan yang lebih dalam.

2.1.3 Permasalahan akibat biofouling

Masalah utama *biofouling* berasal dari adhesi, metabolisme dan distribusi organisme pada permukaan benda yang mengambil nutrisi dari air dan mengubahnya menjadi metabolit serta biomassa baru (Flemming, 2008). Dampak biofouling dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori yaitu: dalam bidang ekonomi, lingkungan, dan kesehatan (GISP, 2008).

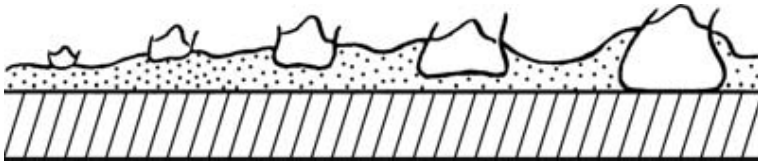


Gambar 2.3. Biofouling yang ditemui pada lambung kapal (Yebrá *et al*, 2004)

Dalam bidang ekonomi, biofouling berdampak pada kegiatan pelayara, budidaya perairan, dan infrastruktur (GISP, 2008). Dalam industri perkapalan biofouling menyebabkan beberapa kerugian yang diantaranya adalah meningkatnya resistensi terhadap gesekan, yang diakibatkan oleh kekasaran dari penempelan biofouling. Selain itu, juga meningkatkan berat kapal yang dapat menurunkan kecepatan berlayar dan penurunan kemampuan dalam bermanuver. Untuk mengimbangi hal tersebut, akhirnya dibutuhkan bahan bakar yang lebih banyak dan dapat menyebabkan emisi yang lebih besar. Peningkatan bahan bakar dapat mencapai 40% dan dapat meningkatkan biaya total operasional sampai 77% (Yebrá *et al*, 2004). Biofouling juga meningkatkan periode *dry-docking* kapal yang digunakan untuk membersihkan biofouling, akibat hal tersebut akhirnya banyak waktu dan sumber daya yang terbuang (Yebrá *et al*, 2004).

Railkin (2005) dalam Yudhatama (2011) menyebutkan bahwa *biofouling* mampu merusak lapisan cat (gambar 2.5). Lapisan cat yang rusak mengakibatkan logam akan bereaksi dengan air laut sehingga mengakselerasi korosi. Mekanisme umum biokorosi

disebabkan oleh elektrokimia yang organisme heterogenitas dan permukaan logam terendam dalam elektrolit (air laut) dan proses pemerataan potensi anoda dan katoda. Kontak antara organisme dengan permukaan logam akan mengintensifkan korosi dalam medium air laut.



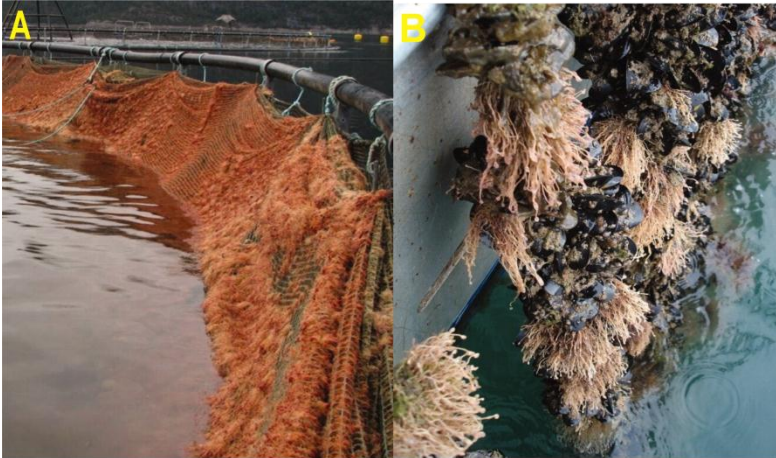
Gambar 2.4 Teritip menghancurkan lapisan cat antikorosi (Railkin, 2005).

Biofouling juga merugikan kegiatan budidaya perairan dengan menempel pada infrastruktur budidaya seperti keramba apung, jaring, tali pengikat atau secara langsung terhadap spesies budidaya. Hal ini dapat memberikat kerugian dengan beberapa cara, yaitu:

- Kebutuhan untuk meningkatkan tenaga kerja dan biaya pemeliharaan (Bourque *et al*, 2003).
- Kerugian produksi akibat berkurangnya sirkulasi air sehingga mengurangi suplai makanan dan oksigen (Willemsen, 2005).
- Komunitas biofouling berkompetisi secara langsung dengan spesies budidaya terhadap sumber daya, dan bahkan dimungkinkan terjadi predasi.
- Penurunan produksi dikarenakan akibat langsung terhadap spesies produksi, dan introduksi penyakit dan parasit (GISP, 2008).
- Penurunan produksi dikarenakan penanggulangan biofouling itu sendiri. Contohnya, pada kasus budidaya menggunakan keramba apung, pertumbuhan biofouling menyebabkan semakin seringnya pergantian keramba dan pengaplikasian produk anti-fouling. Hal ini, menyebabkan spesies budidaya menjadi stress, sehingga menurunkan

tingkat pertumbuhan spesies budidaya yang nantinya akan menurunkan produktifitas (GISP, 2008).

- Biofouling juga dapat menjadi vektor pembawa penyakit dan parasit yang dapat mempengaruhi kesehatan dan/atau pertumbuhan spesies budidaya (GISP, 2008).



Gambar 2.5. Biofouling yang umum ditemui pada kegiatan budidaya perairan (A. *Ectopleura larynx* pada jaring, B. *Ectopleura crocea* pada tali pengikat jaring)(Fitridge *et al*, 2011).

2.2 Metode Penanggulangan terhadap Biofouling

Secara umum, metode penanggulangan terhadap biofouling dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya adalah secara kimiawi, biologi, dan fisik.

2.2.1 Secara biologi

Metode biologi melibatkan penggunaan berbagai enzim atau metabolit yang disekresikan oleh sel sebagai pengganti untuk biosida tradisional (Krug, 2006). Karena biosida yang digunakan merupakan sekresi organik yang *biodegradable*, maka metode biologi menjadi metode yang ramah lingkungan (Jakob *et al*, 2008).

Seperti disebutkan dalam sebelumnya, beberapa organisme dapat mengeluarkan enzim atau metabolit untuk menghambat pertumbuhan pesaing mereka. Sekresi ini memiliki toksisitas rendah dan *biodegradable*, dan telah menerima banyak perhatian dalam beberapa tahun terakhir. Para peneliti telah berusaha untuk mengekstrak konsentrasi tinggi sekresi ini digunakan untuk antifouling biologis. Pada awal 1999, dilaporkan bahwa zat aktif yang dikeluarkan oleh ganggang biru bisa menghambat pertumbuhan diatom (Abarzua *et al*, 1999). komponen antifouling fungsional juga telah ditemukan dalam organisme lain seperti jamur (Xiong *et al*, 2006), spons (Limna *et al*, 2009) dan beberapa bakteri lain (Fernando & Carlos, 2009); (Burgess *et al*, 2003).

Aplikasi enzim sebagai agen antifouling telah berhasil diteliti baru-baru ini. Banyak jenis enzim, seperti oksidoreduktase, transferase, hidrolase, liase, isomerase, dan ligase, telah dilaporkan memiliki kemampuan antifouling [25,58,97-106]. Dari perspektif teknologi antifouling enzimatik, masalah biofouling disebabkan oleh pembentukan dan reproduksi biofilm, dan adhesi spora dan larva makrofouling. Oleh karena itu, fungsi enzim untuk aplikasi antifouling dapat dibagi menjadi empat kategori berikut: degradasi perekat yang digunakan untuk penempelan, mengganggu matriks biofilm, biocides, dan mengganggu komunikasi intercellular (Chao Shan *et al*, 2011).

Namun, pencegahan biofouling secara enzimatik memiliki tantangan sendiri, Suhu air laut berkisar antara -2°C hingga 30°C , yang sebagian besar dapat mempengaruhi aktivitas katalitik dan stabilitas enzim. Selain itu, masing-masing enzim akan terdegradasi jika suhu terlalu tinggi, dan kemudian umur lapisan antifouling enzimatik juga akan menurun. Selain itu, distribusi enzim dan jumlahnya juga harus dianalisis secara rinci, karena enzim yang terlarut akan segera membentuk lapisan terluar yang tebal.

2.2.2 Secara fisik

Banyak metode secara fisik yang telah diselidiki guna menanggulangi biofouling, diantaranya yang paling umum adalah

penggunaan asam hipoklorit (HClO), *ozone bubbles*, hidrogen peroksida atau bromin melalui elektrolisis air laut (Tadashi & Tae,2000); (Yebra *et al*, 2004); (Olsen *et al*, 2007). Karena kemampuan oksidasi yang kuat, HClO dan senyawa lainnya akan tersebar di seluruh permukaan lambung kapal dan menghilangkan daerah organisme fouling. Namun, beberapa dari sistem ini tidak sangat efisien karena dapat terjadi drop tegangan yang besar di permukaan, dan meningkatkan masalah korosi (Chao Shan *et al*, 2011). Beberapa penelitian lain yang telah dicoba adalah penggunaan medan magnet, radiasi ultraviolet dan *radioactive coating* (Yebra *et al*, 2011), tetapi metode ini tidak praktis dalam pengaplikasiannya. Metode yang selanjutnya berpotensi adalah penggunaan substrat dengan warna yang berbeda, yang mempengaruhi pertumbuhan spora alga dan cacing (Swain *et al*, 2006); (Finlay *et al*, 2008). Metode fisik juga meliputi pemanfaatan modifikasi dari sifat fisik permukaan, seperti topografi, untuk meminimalkan kekuatan adhesi (Yebra *et al*, 2004).

2.2.3 Secara kimiawi

Sejak akhir abad 20, organotin dan turunannya telah banyak digunakan sebagai pelapis antifouling karena aktivitas mereka terhadap berbagai spesies fouling. Senyawa organotin yang telah digunakan sebagai antifoulants termasuk tributiltin oksida (TBTO), dan tributiltin fluoride. Senyawa-senyawa antifouling organotin memiliki kemampuan fungisida yang kuat, dan benar-benar akan menghambat pertumbuhan sebagian besar organisme fouling pada konsentrasi yang sangat rendah (Iwao, 2003).

2.3 Cat Antifouling

Cat merupakan suatu produk berbentuk cair yang diulaskan pada substrat dan setelah mengering akan membentuk lapisan tipis dengan daya lekat baik pada permukaan. Cat berfungsi untuk memisahkan lingkungan korosif dengan logam dan mengendalikan lingkungan mikro pada permukaan logam (Azhar,2008).

Lapisan cat diharapkan akan berumur panjang dan akan membatasi masuknya udara dan ion seperti klorida, sulfat, karbonat, oksigen dan air. Lapisan cat tidak akan mampu menghalangi terjadinya reaksi dengan logam pada saat air maupun oksigen mampu mencapai permukaan logam.

Cat *antifouling* mempunyai standard baku internasional seperti yang dijelaskan dalam tabel 2.10.

Tabel 2.1 Syarat cat *antifouling* yang optimal (Chamber, 2002).

Wajib	Dilarang
Antikorosi	Tidak bersifat racun bagi lingkungan
Antifouling	Bersifat persistent di lingkungan
Toksisitas mamalia rendah	Mahal
Ekonomis	Sifat kimiawi yang tidak stabil
Tahan lama	Target spesies tidak spesifik
Kompatibel dengan sistem yang mendasari	Bersifat akumulasi tinggi
Tahan terhadap abrasi / biodegradasi / erosi	-
Tidak ada bioakumulasi dalam rantai makanan	-
Halus	-

Menurut Sudaryanto (2010) cat *antifouling* dapat dikelompokkan menjadi tiga berdasarkan sistem pelepasan zat aktif secara biologi, yaitu:

- a. tipe konvensional, matrik tidak terlarut dalam air laut dan molekul yang beracun bergerak menuju permukaan melalui pori-pori mikroskopik.
- b. *Erodable*, pelepasan zat beracun tetap tertinggal pada lapisan yang lebih dalam dari coating film dan difasilitasi melalui *partial dissolution* dari matrik.

- c. *Self polishing*, matrik dan TBT secara kimia terikat ke dalam bentuk polimer, seperti TBT methacrylate yang melepaskan TBT melalui reaksi dengan air laut karena itu secara tetap memperbaharui permukaan cat. Sistem ini mempunyai beberapa keuntungan laju pelepasan dalam waktu yang konstan dan lebih rendah, menjanjikan perlindungan yang lebih lama (5 tahun).

Sistem cat yang digunakan dalam air mempunyai lapisan berpigmen, tetapi lapisan paling atas bergantung absorpsi air yang sanggup untuk menahan masuknya elektrolit ke permukaan logam. Ikatan antara permukaan logam dengan cat harus kuat untuk mencegah kerusakan akibat osmosis.

2.4 Produk Alami Antifouling

Produk alami antifouling (*Natural Product Antifoulants* /NPA) diusulkan sebagai salah satu alternatif terbaik dalam konteks antifouling. NPAs lebih menguntungkan daripada biocide konvensional karena dianggap lebih tidak beracun, efektif pada konsentrasi rendah, *biodegradable*, dan memiliki spektrum antifouling yang luas (Ravendram, 2009). Produk alami mencakup senyawa anorganik seperti asbes, mika, grafit, dan senyawa organik. Namun, secara umum, produk alami diartikan dengan senyawa organik yang alami terbentuk dalam organisme hidup (Konstantinou, 2006).

NPA lebih menguntungkan dibanding dengan biosida konvensional yang beracun karena memiliki beberapa karakteristik yaitu: non toksik, efektif pada konsentrasi rendah, *biodegradable*, memiliki aktivitas spectrum luas dan efek antifouling yang reversible. Senyawa NPA sejauh ini berupa terpenoid, steroid, karotenoid, fenolat, furanones, alkaloid, peptide dan lakton. Umumnya diisolasi dari berbagai avertebrata laut seperti spons, koral lunak, rumput laut, lamun, tunicata, bryozoa, bakau, kepiting, lobster, bintang laut, bulu babi, moluska dan mikroorganisme laut. Avertebrata laut diketahui menghasilkan

metabolit sekunder dengan jenis, konsentrasi serta fungsi beranekaragam antar spesies. (Estika, 2010).

Tabel 2.2 Beberapa bahan alam yang diketahui berpotensi sebagai antifouling

Spesies	Metabolit	Sumber
<i>Acanthella cavernosa</i>	Terpenoid, kalihin, 10b-formamidokalihinol A, steroid, peroxidase	Estika, 2010
<i>Axinyssa</i> sp	Axinyssimide A, B, C	Estika, 2010
<i>Callyspongia truncata</i>	Asam lemak, derivative, callytriol c.	Estika, 2010
<i>Muricea fruticosa</i>	Muricin	Estika, 2010
<i>Renilla reniformis</i>	Renillafoulins	Estika, 2010
<i>Agelas tubulata</i>	Steroid, Tanin	Marisol <i>et al.</i> , 2013
<i>Holothuria glaberrima</i>	Steroid, Tanin	Marisol <i>et al.</i> , 2013
<i>Caesalpinia spinosa</i>	Tanin	Natalia <i>et al.</i> , 2012
<i>Rhizophora apiculata</i>	Tanin	Idora <i>et al.</i> , 2013
<i>Durio zibethinus</i>	Alkaloid, terpenoid, flavonoid, tanin, dan saponin	Kurniawan & Aunurohim, 2016

2.5 Ketapang (*Terminalia catappa* L.)

Ketapang atau dikenal dengan nama ilmiah *T. catappa* terdistribusi secara luas di daerah tropis dan subtropis di Asia dan Amerika Selatan (Hutchinson, 1972). Ketapang memiliki ketinggian 10-35 cm dengan cabang muda tebal serta daun yang sangat lebar dengan penampilan buah seperti buah almond (Noor, 1999). Ketapang tergolong *semi-decidous* dengan kulit kayu

berwarna coklat abu-abu dan kasar ketika berumur tua (FAO, 2008). Ketapang memiliki penyebaran yang sangat luas dari daerah pantai berpasir atau berkarang dan bagian tepi daratan dari mangrove hingga jauh ke darat (Noor, 1999).

Klasifikasi *T. catappa* menurut Tjitrosoepomo (1993) adalah sebagai berikut,

- Kingdom : Plantae
- Divisi : Spermatophyta
- Kelas : Dicotylendoneae
- Ordo : Myrtales
- Famili : Combretaceae
- Genus : *Terminalia*
- Spesies : *Terminalia catappa* L.

Ketapang merupakan salah satu tumbuhan obat yang banyak tumbuh di Indonesia dan telah digunakan secara tradisional untuk mengobati penyakit kardiovaskuler, kulit, liver, pernafasan, perut, gonorrhoea dan insomnia (Pauly, 2001). Ketapang diketahui mengandung senyawa obat seperti flavonoid (Lin, *et al.*, 2000), triterpenoid (Gao *et al.*, 2004), tanin (Ahmed, *et al.*, 2005), alkaloid (Mandasari, 2006), steroid (Babayi, *et al.*, 2004) dan asam lemak (Jaziroh, 2008).

Pada tumbuhan ketapang bagian daun, batang dan buah ketapang sudah lama digunakan sebagai obat tradisional untuk antidiare, antipiretik (penurun demam) dan obat hemostatik di India, Filipina, Malaysia dan Indonesia (Mandloi, 2013). Ekstrak tumbuhan dapat dijadikan bahan antimikroba (Neelavathi, 2003). Menurut Hardhiko *et al* (2004) daun yang sudah gugur dari pohonnya karena memiliki sifat antibakteri yang lebih baik daripada daun ketapang yang masih berada di tanaman. Aktivitas antimikroba dari ekstrak daun ketapang dengan pelarut metanol, etanol dan air memungkinkan kemampuannya untuk mengekstrak senyawa polifenol seperti fenol sederhana, antosianin, fenil propanoid dan flavonol (Shahina *et al.*, 2007).



Gambar 2.6. Morfologi *T. catappa* L. (Noor, 1999)

Tabel 2.3. Berat dari berbagai fraksi dan konstituen fitokimia pada ekstrak daun ketapang.

Fraksi	Berat (g)	Metabolit sekunder
TC1	10.00	Alkaloid, gula pereduksi, resin, steroid, tannin, saponin
TC-01	5.20	Resin, saponin, steroid
TC1-02	2.63	Resin, steroid
TC1-03	0.68	Resin, steroid
TC1-04	1.03	Resin, gula pereduksi, tannin, saponin

Keterangan: TC1= *crude extract* etanol 95%, TC1-01= fraksi terlarut n-heksana, TC1-02= fraksi terlarut kloroform, TC1-03= fraksi terlarut etil asetat, TC1-04= fraksi terlarut *aqueous methanol*

Kandungan ketapang berdasarkan analisis fitokimia dengan ekstrak etanol dan air (akuades) terbukti adanya alkaloid, flavonoid, tannin, saponin, senyawa fenolik, triterpenoid, *phytosterols*, *fixed oil* dan lemak, protein, karbohidrat, glikosida dan resin (Neelavathi, 2013). Berat dari berbagai fraksi dan konstituen fitokimia pada ekstrak daun ketapang menurut Muhammad (2011) ditunjukkan pada Tabel 2.1. Berdasarkan hasil

analisis fitokimia yang dilakukan oleh daun ketapang menunjukkan adanya senyawa alkaloid, flavonoid, saponin, tanin, terpenoid, steroid, glikosida.

2.6 Ekstraksi

Ekstraksi merupakan teknik pemisahan campuran beberapa zat menjadi beberapa komponen yang terpisah berdasarkan pada distribusi zat terlarut di dalam suatu pelarut yang dipilih atau zat yang diinginkan larut (Pratiwi,2010). Distribusi pemisahan tersebut mengikuti prinsip *like dissolve dislike* yang berdasarkan pada perbedaan kepolaran. Proses distribusi ini melibatkan perbedaan kelarutan komponen campuran dalam suatu pelarut sehingga senyawa yang diinginkan dapat dipisahkan dari campurannya secara selektif dalam pelarut yang digunakan tersebut. Hasil dari ekstraksi disebut ekstrak yang tidak mengandung hanya satu unsur saja,tetapi berbagai macam unsur, tergantung pada kandungan senyawa kimia tumbuhan yang digunakan dan kondisi dari ekstraksi. Ekstraksi yang tepat tergantung pada tekstur dan kandungan air bahan tumbuhan yang diekstraksi dan pada jenis senyawa yang diisolasi.

Menurut Pratiwi (2010) proses ekstraksi dibedakan menjadi dua fase, yaitu:

- Fase Pencucian (*Washing Out*)

Pada saat penggabungan pelarut dengan simplisia, maka sel-sel yang rusak karena proses pengecilan ukuran langsung kontak dengan bahan pelarut. Komponen sel yang terdapat pada simplisia tersebut dapat dengan mudah dilarutkan dan dicuci oleh pelarut. Pada fase pertama ini, sebagian bahan aktif telah berpindah ke dalam pelarut. Semakin halus ukuran simplisia, maka semakin optimal jalannya proses pencucian tersebut.

- Fase Ekstraksi (Difusi)

Proses melarutkan komponen sel yang tidak rusak, maka pelarut masuk ke dalam sel dan mendesak komponen sel tersebut keluar dari sel. Membran sel simplisia yang mula-mula mengering dan mengencil harus diubah terlebih dahulu

agar terdapat suatu perlintasan pelarut ke dalam sel. Hal ini dapat terjadi melalui proses pembengkakan, yaitu membran mengalami suatu pembesaran volume melalui pengambilan molekul bahan pelarut. Kemampuan sel untuk mengikat pelarut menyebabkan struktur dinding sel tersebut menjadi longgar, sehingga terbentuk ruang antarmiselar yang memungkinkan bahan ekstraksi mencapai ke dalam ruang dalam sel. Peristiwa pembengkakan ini sebagian besar disebabkan oleh air. Campuran alkohol dan air lebih disukai untuk mengekstraksi bahan farmasetik karena terbukti lebih cepat. Cara untuk mendapatkan sari yang kental dapat dilakukan dengan menguapkan hasil ekstraksi dengan bantuan *rotary evaporator*.

Menurut Pratiwi (2010) tahap yang harus diperhatikan dalam mengekstraksi jaringan tumbuhan adalah penyiapan bahan sebelum ekstraksi, pemilihan pelarut dan kondisi proses ekstraksi, proses pengambilan pelarut, pengawasan mutu dan pengujian yang dikenal sebagai tahap penyelesaian.

2.6.1 Maserasi

Maserasi adalah salah satu jenis metoda ekstraksi dengan sistem tanpa pemanasan atau dikenal dengan istilah ekstraksi dingin, jadi pada metoda ini pelarut dan sampel tidak mengalami pemanasan sama sekali. Sehingga maserasi merupakan teknik ekstraksi yang dapat digunakan untuk senyawa yang tidak tahan panas ataupun tahan panas (Fitriana, 2015).

Metode ekstraksi dipilih berdasarkan faktor berupa sifat dari bahan mentah dan daya penyesuaian dengan ditiap macam metode ekstraksi serta kepentingan dalam memperoleh ekstrak yang sempurna atau mendekati sempurna dari bahan (Pratiwi, 2010). Metode pembuatan ekstrak yang umum digunakan antara lain maserasi, perkolasi dan sokhletasi. Perbedaan metode dan pelarut ekstraksi yang digunakan menyebabkan kadar dan jenis senyawa yang akan diperoleh.

Menurut Pratiwi (2010) sifat bahan mentah merupakan faktor utama yang menjadi bahan pertimbangan dalam memilih metode ekstraksi. Salah satu metode ekstraksi adalah maserasi. Menurut Fitriana (2015) istilah asli dari maserasi adalah *macerare* yang artinya mengairi, melunakkan, merendam. Proses ini merupakan cara paling tepat karena bahan yang sudah halus memungkinkan untuk direndam dalam *mestruum* sampai meresap dan melunakan susunan sel, sehingga zat-zat yang mudah larut akan melarut.

Proses pembuatan ekstrak dengan metode maserasi harus mengikuti syarat farmakope, yaitu bahan tumbuhan dihaluskan dengan cara dipotong-potong atau disebut kasaran, kemudian disatukan dengan bahan pengekstraksi (Kerans, 2010). Rendaman tersebut disimpan terlindungi dari cahaya langsung untuk mencegah reaksi yang dikatalis cahaya atau perubahan warnasambil sesekali diaduk (Fitriana, 2015). Menurut Pratiwi (2010) pengadukan atau pengocokan dilakukan agar cepat mendapat kesetimbangan antara bahan yang diekstraksi dalam bagian sebelah dalam sel dengan bahan yang masuk ke dalam cairan. Kondisi diam tanpa pengocokan selama maserasi menyebabkan turunnya perpindahan bahan aktif. Semakin besar perbandingan bahan terhadap pelarut akan semakin baik hasil yang diperoleh.

Faktor yang dapat berpengaruh dalam proses ekstraksi dengan bahan kering, yaitu ukuran dari partikel tersebut (Kerans, 2010). Semakin kecil ukuran partikel dari bahan, maka akan semakin mudah pelarut menarik senyawa kimia yang terkandung dalam bahan tersebut.

Metode Maserasi umumnya menggunakan pelarut non air atau pelarut non-polar. Teori menurut Pratiwi (2010 dan Fitriana (2015), ketika bahan uji yang akan di maserasi direndam dalam pelarut yang dipilih, maka ketika direndam, pelarut akan menembus dinding sel dan masuk ke dalam sel yang penuh dengan zat aktif. Oleh sebab ada pertemuan antara zat aktif dan pelarut, maka zat aktif akan larut akibat perbedaan konsentrasi antara larutan zat aktif di dalam sel dengan di luar sel, maka larutan yang

terpekat didesak keluar untuk mencapai keseimbangan konsentrasi. Proses keseimbangan ini akan berhenti, setelah terjadi keseimbangan konsentrasi (istilahnya “jenuh”). Dalam kondisi ini, proses ekstraksi dinyatakan selesai, maka zat aktif di dalam dan di luar sel akan memiliki konsentrasi yang sama, yaitu masing-masing 50%.

Tabel 2.4. Kelebihan dan kelemahan Maserasi (Soebagio, 2005 dan Kerans, 2010)

Kelebihan	Kelemahan
Unit alat yang dipakai sederhana, hanya dibutuhkan bejana perendam	Proses penyariannya tidak sempurna, karena zat aktif hanya mampu terekstraksi sebesar 50% saja.
Biaya operasionalnya relative rendah	Proses lama, butuh waktu beberapa hari
Selama maserasi bahan disimpan di tempat yang di tempat yang terlindungi dari cahaya langsung untuk mencegah reaksi katalis dari cahaya matahari.	Pelarut yang digunakan lebih banyak
Metode ini tidak menggunakan pemanasan sehingga zat aktif yang terkandung dalam bahan tidak rusak	Tidak dapat digunakan untuk bahan-bahan yang mempunyai tekstur keras seperti benzoin dan lilin

Waktu maserasi berbeda-beda tergantung pada sifat atau ciri campuran bahan (Kerans, 2010). Durasi waktu maserasi harus cukup supaya pelarut dapat memasuki rongga dari struktur serbuk bahan dan melarutkan semua zat yang mudah larut. Lamanya maserasi dapat memerlukan waktu beberapa jam atau beberapa hari untuk ekstrak yang optimum. Standard farmakope mencantumkan 4-10 hari. Menurut Pratiwi (2010) waktu 5 hari sudah memadai sebab setelah waktu tersebut keseimbangan antara bahan yang

diekstraksi pada bagian dalam sel dengan luar sel telah dicapai.

BAB III METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2016 sampai Juli 2017. Pengerjaan dan perendaman panel uji dilakukan di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya (Persero), dan analisis hasil dilakukan di Laboratorium Ekologi, Jurusan Biologi FMIPA ITS Surabaya.



Gambar 3.1 A. Lokasi penelitian diperairan dermaga PT Dok dan Perkapalan Surabaya (modifikasi Google Maps); B. Kondisi perairan lokasi penelitian (Dokumen pribadi, 2015).

3.2 Metode yang Digunakan

3.2.1 Preparasi Panel Uji

Panel uji yang digunakan adalah panel baja dengan panjang 10 cm, lebar 7 cm dengan luas total 140 cm² (dua sisi panel uji) dan

ketebalan 8 mm. Kemudian dilubangi dengan diameter 2 cm pada bagian atas tengah sebagai tempat mengikat tali nilon. Kemudian panel baja dibersihkan dengan menggunakan cara *blasting*. Hal ini dilakukan agar panel uji bebas dari kotoran dan minyak yang akan mengganggu proses penempelan cat pada panel uji.



Gambar 3.2 Dimensi plat uji (panjang=10 cm, lebar= 7 cm, diameter lubang tali= 2 cm).

3.2.2 Ekstraksi Daun Ketapang

Metode ekstraksi yang digunakan adalah metode maserasi. Daun tumbuhan ketapang diambil di lingkungan sekitar ITS dengan mengambil dari beberapa pohon. Daun ketapang dibersihkan dengan air mengalir. Setelah itu daun dikeringkan. Daun yang telah kering dipotong-potong dan dihaluskan dengan blender hingga menjadi bubuk (simplisia). Kemudian simplisia disimpan dalam wadah tertutup dan tidak terkena cahaya. Kemudian simplisia direndam pelarut etanol 96% pada suhu ruang dengan perbandingan massa dan volum pada pembuatan ekstrak yaitu 1:4 artinya 1 gram simplisia dalam 4 ml pelarut etanol 96%

selama 3x24 jam. Maserat kemudian disaring, filtrat dipisahkan dan ampasnya direndam kembali ke dalam pelarut yang baru, kemudian maserasi diulangi sebanyak ± 2 kali. Filtrat yang diperoleh dipekatkan dalam *rotary evaporator* (78°C) atau pada suhu didih pelarut (Ginting, 2008). Hasil yang diperoleh berupa cairan kental kemudian dibuat enam (6) macam konsentrasi dengan pelarut cat yaitu 0 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, dan 100 ppm.

3.2.3 Skrining Fitokimia Ekstrak

Hasil ekstraksi yang didapatkan dianalisis secara kualitatif untuk mengetahui kandungan senyawa kimia yang ada pada daun Ketapang. Analisis secara kualitatif menggunakan skrining fitokimia sebagai berikut:

1. Uji Alkaloid

Sample ekstrak diambil sebanyak 1 ml, kemudian ditambahkan 10 tetes H_2SO_4 2N dikocok satu arah, kemudian didiamkan sampai membentuk dua lapisan. Lapisan paling atas dipindahkan ke dalam tabung reaksi masing-masing 1 mL. Tabung 1 ditambahkan pereaksi Mayers, tabung 2 ditambahkan pereaksi Wagner, dan tabung 3 ditambhakan pereaksi Dragendorff. Sampel positif mengandung alkaloid apabila pada peraksi Mayers memberikan endapan putih, pada peraksi Wagner memberi endapan coklat, dan pada pereaksi Dragendorff memberikan endapan warna jingga (Huliselan, 2005).

2. Uji Steroid dan Terpenoid

Satu tetes sampel ekstrak diteteskan pada masing-masing tiga titik (Titik pertama digunakan untuk standart, titik kedua untuk uji terpenoid, dan titik ketiga untuk uji steroid) dan dibiarkan kering. Setelah kering, titik keda dan ketiga ditambahkan pereaksi Lieberman Burchard, kemudian diamti perubahan warna yang

terjadi. Sampel positif mengandung terpenoid apabila terjadi perubahan warna menjadi merah atau coklat. Positif mengandung steroid apabila terjadi perubahan warna menjadi biru, ungu atau hijau.

3. Uji Tanin

1 mL sampel ekstrak dimasukkan kedalam tabung reaksi, kemudian ditambahkan FeCl_3 1% sebanyak 3 tetes. Sampel positif mengandung tanin apabila mengalami perubahan warna menjadi hijau kehitaman.

3.2.4. Pengecatan dan Penambahan Ekstrak

Proses pengecatan menggunakan metode *spray*. Pengecatan dengan cat 80 mikron. Selanjutnya, ekstrak daun ketapang dengan lima konsentrasi berbeda 0 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, dan 100 ppm disiapkan. Ekstrak daun ketapang dicampur pada cat *finishing* dengan pengulangan sebanyak 4 kali untuk masing-masing konsentrasi. Cat dekoratif yang digunakan adalah cat dengan warna yang seragam. Menurut Rachmawati (2002) membuktikan bahwa organisme biofouling cenderung menyukai substrat berwarna gelap untuk menempel.

3.2.5 Proses Pemasangan Panel Uji

Panel baja yang telah di cat dipersiapkan. Panel baja kemudian dipasang 30 cm di bawah permukaan air. Sebelumnya tali nilon diikatkan pada rakit penelitian agar tidak hanyut. Pemasangan panel uji diberi jarak sepanjang 15 cm pada setiap panel uji. Panel uji dibiarkan terendam selama 28 hari.

3.2.6 Pengukuran Luasan Penempelan dan Biomassa Biofouling

Setelah terendam selama 28 hari, panel uji kemudian diambil untuk dihitung luasan penempelan dan biomassa biofoulingnya. Luasan biofouling dihitung dengan menggunakan metode yang dilakukan oleh Vedhaprakas *et al* (2013) yaitu dengan menempelkan mika bening yang memiliki *grid* dengan ukuran 1 cm², kemudian organisme biofouling yang telah menempel pada panel uji, dibuat pola penempelannya pada mika, dan persentase luasan biofouling dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ luasan biofouling} = \frac{\text{luas penempelan}}{\text{luas panel uji}} \times 100\%$$

Tabel. 3.1. Kategori persentase (%) penutupan menurut Zhu & Huang (2004).

Luasan	Kategori
Kurang dari 10%	Rendah
10%-30%	Agak Rendah
30%-50%	Sedang
50%-80%	Tinggi
80-100%	Sangat Tinggi

Setiap plat kapal ditimbang untuk mengetahui biomassa awal dan ditimbang lagi setelah perendaman untuk mengetahui biomassa akhir. Biomassa biofouling yang terakumulasi dalam panel uji diperkirakan dengan mengurangi berat akhir dengan berat awal panel uji (Vedhaprakas *et al*, 2013).

3.2.7 Pengukuran Parameter Lingkungan

Menurut Yudhatama (2012) faktor abiotik yang mempengaruhi pertumbuhan biofouling diantaranya sifat fisika air

laut seperti salinitas, kecerahan, pH, suhu, pasang surut dan arus. Pengambilan semua data faktor fisik kimia perairan dilakukan setiap tujuh hari sekali selama masa perendaman. Untuk, data pasang surut dan arus diamati selama masa perendaman.

a. Suhu ($^{\circ}\text{C}$)

Suhu diukur dengan menggunakan termometer merkuri pada permukaan air laut.

b. Kecerahan

Kecerahan (penetrasi cahaya) diukur dengan menggunakan kepingan *secchi disk* dengan cara memasukkan kepingan *secchi disk* ke dalam air sampai kepingan tersebut tidak lagi terlihat berwarna hitam-putih lalu ditarik kemudian diukur panjang tali yang tenggelam.

c. Salinitas (‰)

Salinitas diukur menggunakan *hand salino refraktometer* merek Atago[®] *Master-S/MiIIM* dengan ketelitian 1%. Pengukuran dilakukan dengan cara meneteskan sampel air pada permukaan alat pengukurnya lalu kemudian ditutup dan dibaca hasilnya.

d. Keasaman (pH)

Keasaman (pH) diukur menggunakan pH meter Jenco[®], dengan cara memasukkan pH meter ke dalam sampel air yang diambil di daerah perairan.

3.2.8 Analisis Data

Rancangan penelitian ini menggunakan metode rancangan acak lengkap pola faktorial. Perbedaan luasan dan biomassa biofouling dianalisis dengan ANOVA *One Way* dengan satu faktor

yaitu konsentrasi ekstrak pada taraf kepercayaan 95% dan Tukey's HSD *Test* untuk uji lanjut.

Bentuk hipotesis yang diuji dalam rancangan ini adalah

Pengaruh faktor konsentrasi terhadap luasan biofouling

H0 = tidak ada pengaruh signifikan tingkatan konsentrasi daun ketapang terhadap luasan biofouling

H1 = ada pengaruh signifikan tingkatan konsentrasi daun ketapang terhadap luasan biofouling

Pengaruh faktor konsentrasi terhadap biomassa biofouling

H0 = tidak ada pengaruh signifikan tingkatan konsentrasi daun ketapang terhadap biomassa biofouling

H1 = ada pengaruh signifikan tingkatan konsentrasi daun ketapang terhadap biomassa biofouling.

Respon dari luas penempelan dan biomassa yang terjadi secara bersamaan, menimbulkan asumsi bahwa kedua faktor saling memberi pengaruh satu sama lain. Analisis regresi linear sederhana digunakan untuk mengetahui apakah faktor luasan penempelan biofouling dan biomassa biofouling saling berpengaruh. Hipotesis yang diuji berupa:

Pengaruh faktor luasan penempelan terhadap biomassa biofouling

H0 = tidak ada hubungan signifikan antara luasan penempelan biofouling dengan biomassa biofouling

H1 = ada hubungan signifikan antara luasan penempelan biofouling dengan biomassa biofouling

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi umum Perairan

Penelitian ini dilakukan selama 28 hari dengan lokasi di perairan dermaga PT. DOK dan Perkapalan Surabaya. Parameter lingkungan yang diukur adalah suhu, salinitas, dan pH. Pengukuran faktor lingkungan diukur secara langsung di lokasi perendaman panel uji. Parameter lingkungan diukur setiap tujuh (7) hari sekali selama 28 hari, hasil dari pengukuran parameter lingkungan dapat dilihat di Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Parameter Lingkungan

Parameter	Baku mutu	Minggu ke-			
		1	2	3	4
Suhu (°C)	28-32	29	30	30	30
Salinitas (‰)	33-34	31	30	31	31
pH	7-8,5	7	7	7	7

Keterangan: Baku mutu menurut Kepmen Lingkungan Hidup No.51. Tahun 2004 Lampiran III Tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut.

Secara umum, kondisi perairan di lokasi penelitian menunjukkan kondisi perairan yang ideal untuk pertumbuhan *biofouling*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Panjaitan (2012), *biofouling* dapat tumbuh pada kondisi suhu antara 15-30°C, salinitas antara 10-30‰. Setelah perendaman panel uji selama 28 hari, diketahui individu *biofouling* yang menempel pada plat uji hanya ditemukan teritip dari jenis *Balanus amphritite*.

B. amphritite merupakan spesies teritip yang umum dijumpai pada ekosistem estuari di daerah tropis dan subtropis. Dapat ditemukan pada daerah supralitoral dan subtidal dan termasuk organisme *euryhaline* dan *eurythermal*, yakni organisme yang

dapat hidup pada rentang salinitas dan suhu yang tinggi (Anil *et al*, 2010). Embrionya menunjukkan perkembangan yang normal pada rentang suhu 14.5-31.5°C, dan salinitas 15‰-40‰. Perkembangan larva teritip *B. amphritite* pada rentang suhu 15-30 °C dan salinitas 10-30‰ menunjukkan kesintasan hidup yang paling rendah yaitu pada suhu 15 °C dan salinitas 10‰ (Qiu, 1999).

Suhu yang rendah atau tinggi memberikan pengaruh pada kemampuan larva cyprid *B. amphritite* untuk menempel pada substrat. Berdasarkan penelitian Konya & Miki (1994), pada rentang suhu antara 20-30°C, 50% larva cyprid *B. amphritite* dapat melakukan penempelan pada substrat. Penempelan tersebut kemudian menurun sampai 23 % pada kondisi suhu 15 °C dan 37 °C. Pada suhu 10 °C larva cyprid dapat hidup namun gagal melakukan penempelan pada substrat.

Kondisi salinitas selama penelitian sebesar 30‰-31‰, nilai ini berada dibawah kisaran baku mutu salinitas air laut untuk biota laut menurut KepMen Lingkungan Hidup No.51 Tahun 2004. Walaupun demikian, teritip termasuk organisme *euryhaline*, yaitu organisme yang mampu hidup pada rentang salinitas yang tinggi. Penelitian Konya & Miki (1994), menunjukkan bahwa pada salinitas 22‰ sampai 35‰, larva cyprid *B. amphritite* mampu melakukan penempelan secara normal, pada salinitas 9‰ dan 65‰ larva cyprid *B. amphritite* mampu bertahan hidup namun gagal dalam melakukan penempelan. Pada kondisi dengan salinitas nol, semua larva cyprid *B. amphritite* tidak dapat bertahan hidup.

pH memberikan efek secara langsung yang kurang signifikan terhadap teritip. Penelitian Baragi & Anil (2017), melaporkan bahwa penurunan pH memiliki efek langsung yang kurang signifikan terhadap perkembangan larva dan penempelan teritip. Namun, penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa penurunan pH yang disertai dengan peningkatan suhu memberikan efek negatif pada penempelan larva.

Selain faktor lingkungan, faktor lain yang berpengaruh terhadap pertumbuhan *biofouling* adalah faktor fisik permukaan benda, seperti tekstur dan warna. Warna permukaan benda yang lebih gelap mampu menstimulasi penempelan invertebrata. Jumlah *biofouling* tertinggi terdapat pada plat baja dengan warna hitam, dan terendah terdapat pada plat baja dengan warna biru (Ring, 2000). Warna gelap mampu mengabsorpsi panas lebih panas daripada warna terang (Ring, 2010).

Kondisi kasar atau halus, keras atau lunak permukaan benda mempengaruhi kemampuan teritip untuk menempel (Hutomo *et al*, 1977). Larva teritip lebih memilih permukaan benda yang kasar daripada permukaan benda halus agar dapat melekat dengan kuat. Permukaan benda yang halus, licin, dan kehadiran zat beracun akan mengurangi jumlah *biofouling* (Panjaitan, 2012). Teritip juga lebih memilih permukaan yang retak-retak dan kasar (Fajrri *et al*, 2011). Lebih lanjut, dalam penelitian Jefrianto *et al* (2012) menunjukkan bahwa antara kapal dengan permukaan kayu dan besi, permukaan kayu memiliki kelimpahan teritip yang lebih tinggi daripada kapal dengan permukaan besi. Hal ini disebabkan karena permukaan kayu lebih kasar daripada permukaan besi.

4.2 Analisis Fitokimia Ekstrak Daun Ketapang (*T. catappa*)

Ekstraksi daun Ketapang dilakukan dengan metode maserasi jaringan dengan menggunakan pelarut ethanol. Hasil analisis ekstrak ethanol Ketapang dapat dilihat pada Tabel 4.2. Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa daun Ketapang diketahui memiliki senyawa metabolit sekunder yang diantaranya adalah alkaloid, steroid, tanin, dan terpenoid.

Beberapa penelitian terkait dengan uji kandungan metabolit sekunder daun Ketapang (*T. catappa*) telah dilakukan dengan berbagai macam pelarut. Penelitian Muhammad & Mudi (2011) menggunakan pelarut ethanol, methanol aquos, kloroform, etil asetat, dan n-heksan. Dari pelarut ethanol didapatkan senyawa

alkaloid, steroid, dan tanin. Pada penelitian Packirisamy & Krishnamorthi (2012), daun ketapang diekstrak menggunakan air, ethanol, methanol, etil asetat, kloroform, petroleum ether, hydroalcohol. Pada penggunaan ekstrak ethanol didapatkan senyawa tanin, alkaloid, steroid, dan terpenoid.

Tabel 4.2 Perbandingan hasil uji fitokimia.

Senyawa	Muhammad & Mudi (2011)	Packirisamy & Krishnamorthi (2012)	Hasil Penelitian
Alkaloid	+	+	+
Steroid	+	+	+
Tanin	+	+	+
Terpenoid	-	+	+

Keterangan: (+) menandakan ditemukannya senyawa, (-) menandakan tidak ditemuinya senyawa

Senyawa metabolit sekunder seperti alkaloid, steroid, tanin, dan terpenoid berpotensi sebagai bahan *antifouling* karena memiliki kemampuan atau sifat sebagai antibakteri dan/atau antimikroba (Estika, 2010):(Raveendran & Mol, 2010). Pada penelitian Lim (2006) dan Miriam *et al*, (2006), menjelaskan bahwa bahan *antifouling* dapat diperoleh dari bahan alami karena adanya sifat antibakteri dan/atau antimikroba.

Tanin mempunyai daya antibakteri dengan cara mempresipitasi protein, karena diduga tanin mempunyai efek yang sama dengan senyawa fenolik. Efek antibakteri tanin antara lain melalui: reaksi dengan membran sel, inaktivasi enzim, dan destruksi atau inaktivasi fungsi materi genetik (Masduki, 1996 *dalam* Ajizah, 2004).

Alkaloid bersifat antibakteri karena dapat mengganggu terbentuknya penyusun peptidoglikan pada sel bakteri, sehingga

lapisan dinding sel tidak terbentuk secara utuh dan menyebabkan kematian sel (Masduki, 1996 dalam Ajizah, 2004).

Aktifitas antibakteri terpenoid diduga melibatkan pemecahan membran oleh komponen-komponen lipofilik (Bobbarala, 2012). Selain itu, menurut Leon *et al*, (2010), senyawa fenolik dan terpenoid memiliki target utama yaitu membran sitoplasma yang mengacu pada sifat alamnya yang hidrofobik. Mekanisme steroid sebagai antibakteri berhubungan dengan membran lipid dan sensitivitas terhadap komponen steroid yang menyebabkan kebocoran pada liposom (Bontjura *et al*, 2015). Steroid dapat berinteraksi dengan membran fosfolipid sel yang bersifat permeabel terhadap senyawa-senyawa lipofilik sehingga menyebabkan integritas membran menurun serta morfologi membran sel berubah yang menyebabkan sel rapuh dan lisis (Ahmed, 2007).

4.3 Pengaruh Ekstrak *T. catappa* Terhadap Biofouling

Untuk mengetahui kemampuan ekstrak etanol *T. catappa* dalam menghambat pertumbuhan *biofouling* maka diperlukan parameter ukur yang dapat merepresentasikan hubungan tersebut. Parameter *biofouling* dalam penelitian ini adalah luasan penempelan *biofouling* dan biomassa *biofouling* setelah dilakukan perendaman selama 28 hari.

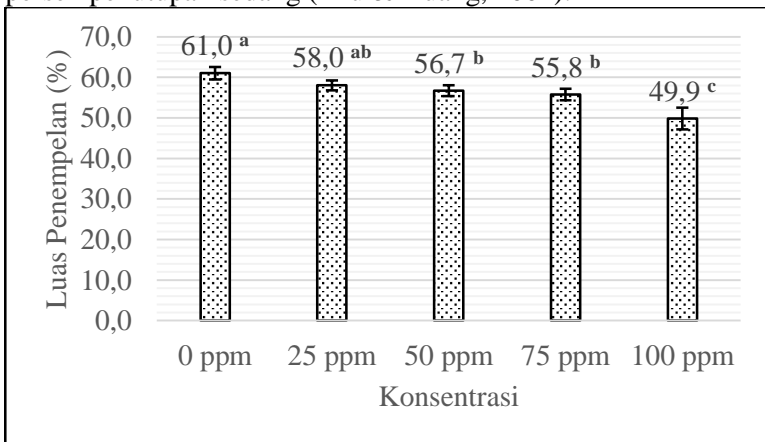
4.3.1 Luasan penempelan Biofouling

Pengukuran luasan penempelan *biofouling* dilakukan setiap 7 hari sekali selama 28 hari. Luasan *biofouling* dihitung dengan menggunakan metode yang dilakukan oleh Vedhaprakas *et al* (2013) yaitu dengan menempelkan mika bening yang memiliki *grid* dengan ukuran 1 cm², kemudian organisme *biofouling* yang telah menempel pada panel uji, dibuat pola penempelannya pada mika, dan persentase luasan *biofouling* dihitung.

Data luasan penempelan *biofouling* selama 28 hari dapat dilihat pada Gambar 4.1. Berdasarkan gambar tersebut, diketahui

bahwa pada semua konsentrasi ekstrak menunjukkan, setiap minggu selama empat (4) minggu pengamatan terjadi penambahan luasan penempelan *biofouling*. Data pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pada konsentrasi 0 ppm, pada minggu pertama luasan *biofouling* sebesar 41,3%, kemudian meningkat pada minggu kedua dengan nilai sebesar 47,6%, meningkat lagi pada minggu ketiga dengan nilai 54,1%, dan pada minggu keempat dengan nilai sebesar 61,0%. Selain terjadi peningkatan luasan penempelan *biofouling* tiap minggu pada konsentrasi 0 ppm, peningkatan juga terjadi pada konsentrasi 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm dan 100 ppm.

Berdasarkan Gambar 4.1. menunjukkan konsentrasi 0 ppm sampai 75 ppm memiliki persentase luasan penempelan diatas 50%, berdasarkan kategori yang dibuat Zhu & Huang (2004) nilai tersebut masuk kedalam kategori tinggi. Persentase luas penempelan pada konsentrasi ekstrak 100 ppm memiliki nilai luasan persentase sebesar 49,9 %, sehingga memiliki kategori persen penutupan sedang (Zhu & Huang, 2004).



Gambar 4.1 Luas penempelan *biofouling* setelah 28 hari pengamatan.

Penambahan luasan ini terjadi karena pertumbuhan *biofouling* yang setiap minggu bertambah, baik dari segi kuantitas *biofouling* maupun ukuran *biofouling*. *Biofouling* yang ditemukan pada plat uji adalah teritip *B. amphritite*. Diketahui bahwa teritip merupakan salah satu spesies *biofouling* yang sangat umum ditemui menempel pada substrat.

Pada Gambar 4.2 diketahui bahwa *B. amphritite* menempel secara berkelompok atau berdekatan satu sama lain. Hal ini disebabkan oleh produksi senyawa anthropodine (Boesono, 2008). Diketahui juga bahwa teritip *Balanus* sp, yang telah dewasa akan memancarkan sinyal berupa senyawa kimia yaitu, glycyl-glycyl I-arginine (GGR) yang berfungsi untuk memanggil larva untuk menempel pada substrat tersebut dan berkembang hingga dewasa.



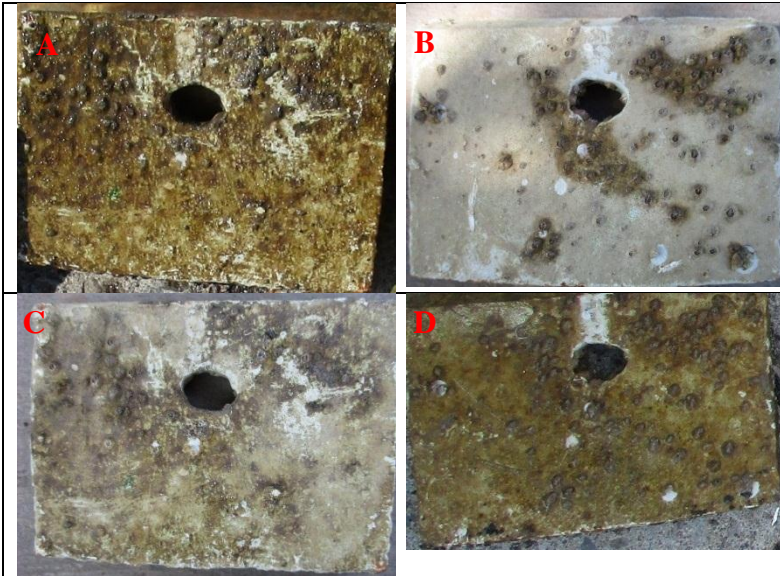
Gambar 4.2 Teritip *B. amphritite* ditemui menempel secara berkelompok

Berdasarkan Gambar 4.1 selain diketahui bahwa pada semua konsentrasi ekstrak terjadi peningkatan luasan penempelan *biofouling*, dapat diketahui pula bahwa semakin tinggi konsentrasi

ekstrak, luasan penempelan *biofouling* semakin menurun. Hal ini dapat dilihat pada minggu keempat, konsentrasi ekstrak 0 ppm luasan penempelannya sebesar 61%, kemudian menurun pada ekstrak 25 ppm menjadi 58%, menurun lagi pada konsentrasi 50 ppm dengan menjadi 56,7%, pada konsentrasi 75 ppm turun menjadi 55,8% dan pada konsentrasi ekstrak tertinggi yaitu 100 ppm memiliki nilai paling rendah yaitu 49,9%. Hal ini diduga disebabkan bahwa pada konsentrasi ekstrak semakin tinggi, kandungan terpenoid, dan tanin juga semakin tinggi, yang mana kandungan tersebut memiliki daya *antifouling*.

Pola penurunan luasan penempelan *biofouling* terhadap peningkatan konsentrasi juga ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan & Aunurohim (2016) yang menggunakan ekstrak kulit *Durio zibethinus* sebagai bahan *antifouling*. Berdasarkan penelitian tersebut ekstrak kulit *D. zibethinus* memiliki kandungan alkaloid, terpenoid, flavonoid, tanin, dan saponin memiliki kemampuan dalam menghambat pertumbuhan *biofouling*. Penelitian tersebut menggunakan lima konsentrasi ekstrak (5) yang berbeda, Pada konsentrasi ekstrak tertinggi yaitu 100 ppm mampu menghambat penempelan *biofouling* sampai menjadi 47,8%.

Senyawa lain yang memiliki aktivitas *antifouling* adalah tanin. Penelitian Idora *et al* (2013), menunjukkan bahwa tanin mangrove *Rhizophora apiculata*, mampu menghambat pertumbuhan *biofouling* pada plat uji berupa baja. Pada penelitian tersebut juga dijelaskan bahwa efektivitas tanin sebagai bahan *antifouling* bergantung pada kuantitas atau konsentrasi tanin dalam matriks cat. Pada penelitian tersebut diketahui bahwa tanin dapat menghambat pertumbuhan *biofouling* bahkan pada konsentrasi yang rendah.



Gambar 4.3. Pertambahan luasan penempelan biofouling pada konsentrasi 100 ppm selama 28 hari perlakuan.

Keterangan: A= hari ke-7, B= hari ke-14, C=hari ke-21, dan D hari ke-28.

Selain tanin, Terpenoid dan steroid hasil isolasi dari spons *Acanthella cavernosa* menunjukkan kemampuan sebagai *antifouling* terhadap teritip *B. amphritite*. Dijelaskan bahwa terpenoid dan steroid memiliki mekanisme menghambat *B. amphritite* dengan cara menghambat penempelannya terhadap substrat. Selain itu, diketahui juga bahwa senyawa 10β -formamidokalihinol A memiliki toksisitas rendah terhadap larva teritip (Raveendran & Mol, 2009). Dalam penelitian Fusetani (2003), juga menjelaskan bahwa senyawa 10β -formamidokalihinol A, 15-formamidokalihinene yang merupakan senyawa terpenoid memiliki mekanisme melawan *biofouling* dengan cara

menghambat penempelan dan metamorfosis dari teritip *B. amphritite* bahkan pada konsentrasi rendah sekalipun.

Tabel 4.3. Hasil Uji One Way untuk faktor luas penempelan
ANOVA

luas penempelan

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	269.447	4	67.362	22.658	.000
Within Groups	44.595	15	2.973		
Total	314.042	19			

Keterangan: taraf kepercayaan ($p=0.05$)

Untuk melihat adanya pengaruh konsentrasi ekstrak etanol *T. catappa* terhadap luasan penempelan *biofouling* dilakukan uji ANOVA *One Way*. Berdasarkan Tabel 4.3. diketahui bahwa konsentrasi ekstrak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap luasan penempelan *biofouling* ditunjukkan dengan nilai P $0,000 < 0,05$. Karena nilai signifikansi P $0,000 < 0,05$, maka dilakukan uji lanjut, uji lanjut digunakan untuk mengaethai variabel manakah yang memiliki pengaruh signifikan.

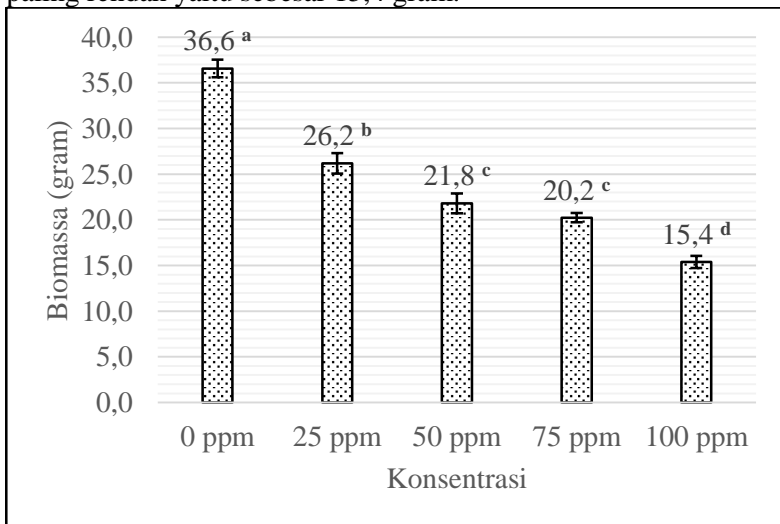
4.3.2 Biomassa *Biofouling*

Faktor lain selain luasan penempelan *biofouling* yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah ekstrak *T. catappa* dapat digunakan sebagai *antifouling* adalah biomassa. Biomassa disini adalah biomassa dari organisme fouling yang menempel pada plat uji.

Pengukuran biomassa *biofouling* dilakukan dengan cara sebelumnya menimbang berat plat uji sebelum dilakukan perendaman pada okasi penelitian. Berat plat uji yang didapatkan sebelum perendaman digunakan sebagai berat awal. Plat uji

kemudian direndam selama 28 hari dengan dilakukan penimbangan setiap tujuh hari sekali. Berat yang diperoleh pada penimbangan setelah perendaman kemudian di kurangi dengan berat awal. Hasil selisih dari berat tersebut kemudian dijadikan sebagai berat *biofouling*.

Hasil pengukuran biomassa *biofouling* dapat dilihat pada Gambar 4.3. Berdasarkan grafik tersebut diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi ekstrak *T. catappa*, biomassa *biofouling* semakin menurun. Pada minggu keempat (28 hari) konsentrasi ppm memiliki biomassa sebesar 36,6 gram, konsentrasi 25 ppm sebesar 26,2 gram, konsentrasi 50 ppm 21,8 gram, konsentrasi 75 ppm sebesar 20,2 gram, dan konsentrasi 100 ppm memiliki biomassa paling rendah yaitu sebesar 15,4 gram.



Gambar 4.4 Biomassa *biofouling* setelah 28 hari pengamatan

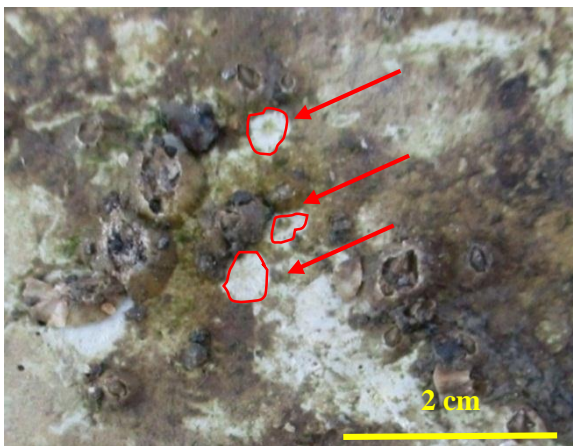
Dari Gambar 4.4 diketahui bahwa seiring dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak, terjadi penurunan biomassa *biofouling*. Untuk melihat adanya pengaruh konsentrasi ekstrak

etanol *T. catappa* biomassa *biofouling* dilakukan *Annalysis of Variance* (ANOVA *One Way*) menggunakan bantuan software SPSS. Berdasarkan Tabel 4.4 diketahui bahwa konsentrasi ekstrak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap biomassa *biofouling* ditunjukkan dengan nilai $P 0,000 < 0,05$.

Tabel 4.4. Hasil Uji One Way untuk faktor biomassa biofouling
ANOVA

biomassa					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1022.047	4	255.512	317.480	.000
Within Groups	12.072	15	.805		
Total	1034.120	19			

Keterangan: taraf kepercayaan ($p=0.05$)



Gambar 4.5 Tanda dari pelepasan teritip (ditunjukkan tanda panah merah)

Teritip mampu menempel pada permukaan substrat karena mensekresikan semen yang mengandung protein dari kelenjar semen. 90% penyusun dari semen ini diketahui merupakan protein. Semen disekresikan diantara *base plate* dari teritip dengan substrat (Kamino *et al*, 2000). Untuk dapat menempel secara efektif Protein tersebut berfungsi untuk koagulasi, pemindahan air dari substrat, pembentukan kontak antar permukaan dan daya tarik molekul antara bahan yang berbeda (Yin *et al*, 2005). Pelepasan teritip dari substrat diduga karena pengaruh dari terganggu protein yang digunakan untuk menempel pada substrat. Masduki (1999) dalam Ajizah (2004) menjelaskan bahwa tanin mampu mempresipitasi protein. Selain tanin, senyawa lain yang terkandung dalam ekstrak daun *T. catappa* juga dimungkinkan mengganggu dari fungsi protein diatas sehingga teritip mengalami pelepasan dari substrat.

4.3.3 Luasan Penempelan terhadap Biomassa *Biofouling*

Berdasarkan uji *Analysis of Variances* (ANNOVA *One Way*) antara konsentrasi ekstrak etanol *T. catappa* terhadap luasan penempelan *biofouling* diketahui bahwa konsentrasi ekstrak berpengaruh secara signifikan terhadap luasan penempelan *biofouling*. Hal yang sama juga terjadi pada hasil analisis antara konsentrasi ekstrak terhadap biomassa *biofouling*, yang juga menunjukkan adanya pengaruh signifikan antara konsentrasi ekstrak dengan biomassa *biofouling*.

Berdasarkan hal diatas, menimbulkan pertanyaan, apakah luasan penempelan dan biomassa *biofouling* memiliki korelasi satu sama lain. Untuk mengetahui hal tersebut perlu dilakukan uji lebih lanjut. Salah satu uji yang dapat dilakukan adalah uji regresi linear sederhana. Analisis regresi linear sederhana digunakan untuk mengetahui apakah faktor luasan penempelan *biofouling* dan biomassa *biofouling* saling berpengaruh satu sama lain.

Tabel 4.5. Hasil Uji Regresi Linear Sederhana luas penempelan terhadap biomassa

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.836	.699	.682	4.16141	.699	41.716	1	18	.000

a. Predictors: (Constant), luas penempelan

b. Dependent Variable: biomassa

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	722.407	1	722.407	41.716	.000 ^a
	Residual	311.712	18	17.317		
	Total	1034.120	19			

a. Predictors: (Constant), luas penempelan

b. Dependent Variable: biomassa

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	-61.296	13.246			-4.627	.000
	luas penempelan	1.517	.235	.836		6.459	.000

a. Dependent Variable: biomassa

Berdasarkan Tabel 4.5 diketahui bahwa nilai Koefisien Determinasi (R-square) menunjukkan nilai sebesar 0,699, nilai tersebut menjelaskan bahwa pengaruh variable bebas (luas penempelan) terhadap variable terikat (biomassa) sebesar 69,9%. Pada Tabel 4.5. juga diketahui bahwa luasan penempelan *biofouling* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap biomassa *biofouling* ditunjukkan dengan nilai $P\ 0,000 < 0,05$. Tujuan dari penggunaan regresi adalah untuk mengetahui jika suatu variabel berubah apakah variabel lain juga ikut berubah. Persamaan regresi dari tabel diatas adalah $\text{biomassa} = -61,296 + 1,517 (\text{luas penempelan})$. Yang dapat diartikan sebagai berikut:

- Konstanta sebesar -61,296: Apabila variabel lain bernilai konstan (luas penempelan = 0) maka biomassa nilainya sebesar -61,296.
- Koefisien regresi luasan penempelan sebesar 1,517: artinya apabila nilai luas penempelan mengalami kenaikan sebesar satu (1) maka biomassa akan mengalami peningkatan sebesar 1,517.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan, bahwa:

1. Ekstrak ethanol daun *T. catappa* positif memiliki kandungan senyawa alkaloid, steroid, tanin, dan terpenoid.
2. Ekstrak ethanol daun *T. catappa* berpotensi sebagai bahan *antifouling*, dengan mengurangi luasan penempelan *biofouling* seiring meningkatnya konsentrasi perlakuan, yaitu sebesar 61,0%: 58,0%: 56,7%: 55,8% dan 49,9% untuk konsentrasi 0 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, dan 100 ppm.
3. Penurunan luasan penempelan *biofouling* paling rendah ditemui pada konsentrasi ekstrak tertinggi yaitu 100 ppm dengan luas penempelan 49,9%.
4. Ekstrak ethanol daun *T. catappa* juga mengurangi biomassa *biofouling* seiring dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak, yaitu sebesar 36,6 gram: 26,2 gram: 21,8 gram: 20,2 gram dan 15,4 gram untuk konsentrasi 0 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, dan 100 ppm.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan penulis melalui tulisan ini yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan rentang waktu yang panjang, untuk mengetahui kemampuan ekstrak dalam mengurangi *biofouling* dengan waktu yang lebih panjang
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan dibandingkan dengan cat *antifouling* komersil dan TBT.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Abarzua, S dan S. Jakubowski. 1995. Biotechnological Investigation for the Prevention of Biofouling. I. Biological dan Biochemical Principles for the Prevention of Biofouling. Marine Ecology Progress Series Vol. 123 ; Inter Research. Germany.

Ahmed, S. M., Swamy, V., Dhanapal, P. G. R. dan Chandrashekara, V. M., 2005, Anti-Diabetic Activity of Terminalia catappa Linn Leaf Extracts in Alloxan- Induced Diabetic Rats”, Iranian Journal of Pharmacology and Therapeutics 4 (1): 36.

Ajizah, Aulia. 2004. Sensitivitas Salmonella typhimurium terhadap ekstrak daun Psidium guajawa. **Biosientiae Vol. 01**: 31-38.

Ananda, A. Sasikumar. 2010. Studies on novel silicone/phosphorus/sulphur con-taining nano-hybrid epoxy anticorrosive and antifouling coatings, **Prog. Org.Coat. 68** 189–200.

Babayi, H., Kolo, I., Okogun, J. I. dan Ijah, U. J. J., 2004, “The Antimicrobial Activities of Methanolic Extracts of Eucalyptus camaldulensis and Terminalia catappa Against Some Pathogenic Microorganisms”, Nigerian Society for Experimental Biology, Biochemistry 16 (2): 110.

Baragi. L.V., Anil. A.C. 2017. Influence of Elevated Temperature, pCO₂, and nutrients on larva-biofilm interaction: Elucidation with acorn barnacle, *Balanus amphitrite* Darwin (Cirripedia: Thoracica). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**.

Bourque, D., Landry, T. Davidson, J. and McNair, N. 2003. Impact of an invasive tunicate in Atlantic Canada : Recruitment and competition. **Journal of Shellfish Research 22** :320.

Bobbarala, V. 2012. Antimicrobial Agents. Intech, Croatia.

Budiharyta, R. 2006. Studi Penempelan Biofouling dengan Variasi Jenis Material di Laut Tropis. **Skripsi**. Surabaya: Progam Studi S1 Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Chambers, L.D., K.R. Stokes, F.C. Walsh, dan R.J.K. Wood. 2006. Modern approaches to marine antifouling coating. **Surface & Coatings Technology**, 201: 3642–3652.

Chao, S. W, Jia Dao., C. Hao Seng., C. Da Rong. 2011. Progress of biofouling and antifouling tehcnologies. **Chinese Science Bulletin** 56: 598-612.

Chapman, J., C. Hellio., T. Sullivan., R. Brown., S, Russel. 2014. Bioinspired synthetic macoalgae; Examples from nature for antifouling applications. **International Biodeterioration & Biodegradation** 86: 6-13.

Callow, M. E. 2002. Marine biofouling a sticky problem. **National Center for Biotechnology Information** 49; 4-10.

Cuili, J, Q. Jingjing, M. Li, F. Ke, Z. Xiao Jian. 2014. Antifouling activities of anti-histamine compounds against the barnacle *Amphibalanus* (=Balanus) *amphitrite*, J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 452 :47–53.

Darmaraj, S, A. Chellam dan T.S. Velayudhan. 1987. Biofouling, Boring dan Predation of Pearl Oyster. CMFRI bulletin 39. Central Marine Fisheries Research Institute. India

David. C, V. Karine, L. Isabelle, Q. Francoise, D. Romain, C. Chantal, D. Maxime,F. Fabienne. 2014. Development of environmentally friendly antifouling paints using biodegradable polymer and lower toxic substances, **Prog. Org. Coat.** 77.

Estika, A. 2010. Organisme Laut Penghasil Antifoulant Pengganti TBT Penanggulangan Biofouling di Dasar Kapal. **Skripsi**. Jakarta; Program Studi Bioteknologi, Universitas Al Azhar Indonesia.

Fitridge I. 2011. The ecology of hydroids (Hydrozoa:Cnidaria) in Port Phillip Bay, Australia, and their impacts as fouling species in longline mussel culture. **Thesis**. Melbourne: Department of Zoology, The University of Melbourne.

Flemming, H. C. 2008. Marine and Industrial Biofouling. USA; Springer series on Biofilm Vol 4. Verlag Berlin Heidelberg.

Gao, J., Tang, X., Dou, H., Fan, Y., Zhao, X. dan Xu, Q., 2004, "Hepatoprotective Activity of Terminalia catappa L. Leaves and Its Two Triterpenoids", Journal of Pharmacy and Pharmacology 56 (11): 1449.

Global Invasive Species Program (GISP). 2008. **Marine Biofouling and Invasive Species**; Guidelines for for Prevention and Management. Compiled by Lynn Jackson on behalf of Global Invasive Species Program and UNEP Regional Seas Program.

Hellio, C., 2009. **Natural Marine Products with Antifouling Activities. Advances in Marine Antifouling Coatings dan Technologies**. Woodhead Publishing Ltd & CRC Press LLC, Cambridge, UK..

Idora, M. S., Ferry, M., Wan Nik, W., Jasnizat, S. 2015. Evaluation of tannin from Rhizophora apiculata as natural antifouling agents in epoxy paint for marine application. **Progress in Organic Coating** 81: 125-131.

International Marine Organisation (IMO). 2002. Anti-fouling system. <www.imo.org> 20 April 2016.

Jaziroh, S., 2008, "Isolasi dan Identifikasi Senyawa Aktif dalam Ekstrak n-Heksana Daun Ketapang (Terminalia cattapa L.)",

Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Diponegoro, Semarang.

Jian-Wei, Qiu. 1999. Tolerance of the barnacle *Balanus amphitrite* to salinity and temperature stress: effects of previous experience. **Marine Ecology Progress Series**. Vol.188:123-132.

Jefrianto. 2012. Penempelan Biofouling (*Balanus* spp) pada Tubuh Kapal Kayu, Fiber dan Baja di Pelabuhan Sibolga, Sumatera Utara.

Kamino, K., Inoue K., Maruyama T., Nobihiko. T., Shigeaki. H. 2000. Barnacle Cement Proteins: Importances of disulfide bonds in their insolubility. **The Journal Of Biological Chemistry Vol. 275.**; 360-365

Konya. K. Miki. W. 1994. Effects of Environmental Factors on Larval Settlement of the Barnacle *Balanus amphitrite* Reared in the Laboratory. **Fisheries Science**.

Kurniawan, Andreas Wim dan Aunurohim. 2016. Kepadatan dan Keragaman Macrobiofouling pada Dermaga Beton dan Dermaga Kayu di Pulau Balanglombo. Kec. Mattiro Sompe. Kab. Pangkep. **Tugas Akhir**. Surabaya: Jurusan Biologi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Leon, L.D., M.R. Lopez., dan L. Moujir. 2010. Antibacterial Properties of Zeylasterone a Triterpenoid Isolated from *Maytenus blepharacles* against *Staphylococcus aureus*. **Microbiological Research Vol. 12:** 2 – 10.

Lim. S.H, I. Darah, K. Jain. 2006. Antimicrobial activities of tannins extracted from *Rhizophora apiculata* barks, **J. Trop. For. Sci.** **18** ; 59–65.

Mandasari, I., 2006, “Isolasi dan Identifikasi Senyawa Alkaloid dalam Ekstrak Kloroform Daun Ketapang (*Terminalia cattapa* L.)”,

Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Diponegoro, Semarang.

Maréchal, J.P., Hellio, C., 2009. Challenges for the Development of New non-Toxic Antifouling Aolutions. **International Journal of Molecular Sciences** 10.

Marisol. S.A, P. Carlos, C. Katerine, G.L. Javier, S. Mirta, G. Monica, P. Miriam, B.Guillermo. 2013. Antifouling paints based on marine natural products from Colom-bian Caribbean, **Int. Biodeterior. Biodegrad.** 83: 97–104.

Miriam. P, B. Guillermo, G. Monica, A. Del Beatriz, S. Mirta. 2006. Cupric tan-nate: a low copper content antifouling pigment, **Prog. Org. Coat.** 55: 311–315.

Mirta. E.S, T.G. Monica, C.P. Miriam. 2003. Non-toxic alternative compounds formarine antifouling paints, **Int. Biodeterior. Biodegrad.** 52: 49–52.

Muhammad A. 2011. Phytochemical Screening and Antimicrobial Activities of *Terminalia catappa*, Leaf Extract. **Biokemistri Vol** 23 : 35-39

Natalia, B., Del Beatriz, A., Robert, R. 2012. *Caesalpinia spinosa* tannin derivates for antifouling formulations. **Process Material Science** 1: 259-265.

Olsen. S.M, J.B. Kristensen, B.S. Laursen, L.T. Pedersen, K. Dam-Johansen, S. Kiil. 2010. Antifouling effect of hydrogen peroxide released from enzymatic marine coat-ing: exposure testing under equatorial and Mediterranean conditions, **Prog.Org. Coat.** 68: 248–257.

Packirisamy. P, Vijayalakshmi Krishnamorthi. 2012. Evaluation of Proximate Composition and Phytochemical analysis of Terminalia

catappa L. from Nagapattinam Region. **International Journal of Science and Research**.

Panjaitan, M. F., 2011. Analisis Penggunaan Arus Searah (DC) pada *Immersed Current Antifouling* (ICM) sebagai Pencegahan Fouling pada Sistem. **Tugas Akhir**. Surabaya; Program Studi S1 Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Palanisamy, I, R. Peranandam, R. Ramasamy, P. Santhiyagu, P. Arunachalam, I. Grasian, A. Perumal, S. Asmita, H. Claire. 2014. Antifouling and toxic properties of the bioactive metabolites from the seagrasses *Syringodium isoetifolium* and *Cymodocea serrulata*, **Ecotoxicol. Environ. Saf.** **103**.

Pauly, G., 2001, "Cosmetic, Dermatological and Pharmaceutical Use of an Extract of *Terminalia catappa*", United States Patent Application no. 20010002265: 1-2. Ala. S, B. Alexandra, M. Jean-Luc, B. Nathalie. 2012. Comparative efficiency of macroalgal extracts and booster biocides as antifouling agents to control growth of three diatom species, **Mar. Pollut. Bull.** **64**.

Pérez, M., *et al.* 2009. **Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies**. Woodhead Publishing Ltd & CRC Press LLC, Cambridge, UK.

Rachmawati, A. 2002. Pengaruh Warna Cat Dekoratif terhadap Penempelan Teritip dan Biomassa Biofouling pada Substrat Baja di Perairan Ujung Surabaya. **Tugas Akhir**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Railkin, A.I. 2004. **Marine Biofouling; Colonization Processes dan Defence**. CRC Press. Florida.

Ring, K. 2000. Recruitment of *Balanus* improvise on microtexture with different geometries and evaluation of methods for analyzing cyprid behaviour. **Thesis**. Swedia; Program Pendidikan S2 Jurusan Ilmu Ekologi Kelautan, Universitas Gotenberg.

Ruslan, Ahmad Faisal. 2011. Kepadatan dan Keragaman Macrobiofouling pada Dermaga Beton dan Dermaga Kayu di Pulau Balanglombo. Kec. Mattiro Sompe. Kab. Pangkep. **Skripsi**. Makasar: Jurusan Ilmu Kelautan. Universitas Hasanuddin.

Sudaryanto, A., M. Muhtar, H. Razak, dan S. Tanabe. 2001. Pencemaran Senyawa Butyltin di sedimen dari perairan Indonesia. **Jurnal Sains dan Teknologi**, 3(5): 64-69.

Triwibisono, A., I. Ranu dan Sardono. 2012. Analisa Impressed Fouling (ICAF) sebagai Pencegah Fouling di Linier Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut. **Jurnal Teknik POMITS** Vol 1. No. 1; 1-7.

Vedaprakash, L., R. Dineshram, K. Ratnam, K. Lakshmi, K. Jayaraj, S. Mahesh, R. Venkatesan, A. Shanmugam. 2013. Experimental studies on the effect of different metallic substrates on marine biofouling. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 106: 1–10.

Willemsen, P. 2005. Biofouling in European Aquaculture: Is there an easy solution? **European Aquaculture Society Special Publ.** No. 35: 82 – 87

Yebra, D. M. S. Kiil., K. Dam-Johansen. 2004 Antidouling Technology ; Past, Present, and Future Step toward efficient and enviromentally friendly antifouling coating. **Progress in Organic Coating** 50; 75-104

Yin, J, Y. Zhao, R Zhu. 2005. Molecular dynamics simulation of barnacle cement. **Materials Science and Engineering A** 409; 160-166.




Yosry A.S, S.M. Adel, N. Mohamed. 2014. Antifouling activity of crude extracts isolated from two Red Sea puffer fishes, Egypt. *J. Aquat. Res.* 40



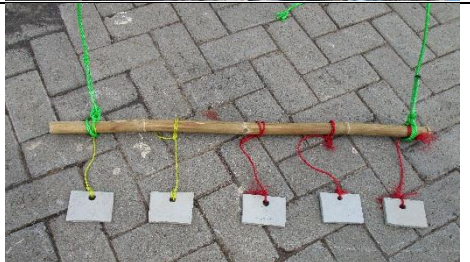
Yudhatama, Januar Indra, Aunurohim, N. Abdulgani. 2013. Pengaruh Campuran Ekstrak Debu Tembakau Terhadap Luasan dan Biomassa Biofouling pada Substrat Baja di Perairan Dermaga PT. DOK dan Perkapalan Surabaya. **Tugas Akhir**. Surabaya; Jurusan Biologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Zhu, X dan Huang, G. 2004. Evaluation dan Clasification of Seawater Corrosiveness by Environmental Factor. Qingdao Marine Institute. China.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian

Pemotongan Plat Uji	
Pembersihan Plat Uji	
Plat Uji Siap Di cat	

<p>Pencampuran Ekstrak Dengan Matriks Cat</p>	
<p>Plat Uji Siap untuk Direndam</p>	
<p>Plat Uji diikatkan ke Tali pengikat</p>	

Lampiran 2

Hasil Perhitungan Luasan Penempelan Biofouling

Pengulangan	0 ppm			
	minggu ke-			
	1	2	3	4
A	42,6	49,2	54,9	61,7
B	40,7	47,5	53,8	60,3
C	40,5	46,3	53,2	59,3
D	41,5	47,5	54,5	62,8
Rata-rata	41,325	47,625	54,1	61,025

Pengulangan	25 ppm			
	minggu ke-			
	1	2	3	4
A	38,7	46,5	52,7	59,6
B	36,7	45,3	51,5	58,1
C	35,9	43,5	49,5	56,7
D	37,6	44,4	50,6	57,7
Rata-rata	37,225	44,925	51,075	58,025

Pengulangan	50 ppm			
	minggu ke-			
	1	2	3	4
A	36,7	42,8	49,6	57,8
B	37,5	44,6	50,3	56,4
C	37,1	44,8	49,3	54,9
D	36,4	43,6	50,6	57,7
Rata-rata	36,925	43,95	49,95	56,7

	75 ppm			
Pengulangan	minggu ke-			
	1	2	3	4
a	35,3	41,2	48,8	57,4
b	35,7	39,6	47	56,3
c	34,6	41,5	46,6	54,1
d	34	40,8	47,8	55,2
Rata-rata	34,9	40,775	47,55	55,75

	100 ppm			
Pengulangan	minggu ke-			
	1	2	3	4
a	29,6	36,7	42,9	52,3
b	28,4	32,6	39,6	48,9
c	25,9	35,4	41,7	46,5
d	26,3	36,8	43,2	51,7
Rata-rata	27,55	35,375	41,85	49,85

Lampiran 3

Hasil Perhitungan Biomassa Biofouling

0 ppm

Pengulangan	minggu ke-			
	1	2	3	4
A	27,4	31,6	34,7	36,8
B	26,8	30,7	33,6	35,2
C	27,1	32,7	35,4	37,5
D	28,5	36,8	34,9	36,8
Rata-rata	27,45	32,95	34,65	36,575

25 ppm

Pengulangan	minggu ke-			
	1	2	3	4
A	22,9	24,1	25,1	26,2
B	21,6	23,7	25,6	26,8
C	22,5	24,5	26,4	27,1
D	19,4	21,4	22,4	24,6
Rata-rata	21,6	23,425	24,875	26,175

50 ppm

Pengulangan	minggu ke-			
	1	2	3	4
A	15,6	18,4	18,2	21,5
B	15,7	17,9	19,7	22,1
C	16,3	19,4	22,6	23,1
D	16,8	18,3	18,9	20,5
Rata-rata	16,1	18,5	19,85	21,8

75 ppm

Pengulangan	minggu ke-			
	1	2	3	4
a	13,6	15,3	17,7	19,7
b	14,2	16,3	18,6	20,7
c	12,6	14,6	17,3	20,3
d	13,5	14,9	17,4	20,5
Rata-rata	13,5	15,3	17,8	20,2

100 ppm

Pengulangan	minggu ke-			
	1	2	3	4
a	12,3	14,8	14,5	15,3
b	13,2	15,6	16,7	14,66
c	11	13,1	14,2	15,3
d	11,7	13,8	14,4	16,3
Rata-rata	12,05	14,325	14,95	15,39

Lampiran 4
Hasil ANOVA One Way Konsentrasi terhadap Luas
Penempelan Biofouling

ANOVA

luas penempelan

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	269.447	4	67.362	22.658	.000
Within Groups	44.595	15	2.973		
Total	314.042	19			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

luas penempelan

Tukey HSD

(I) konsentrasi	(J) konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0 ppm	25 ppm	3.000	1.219	.153	-.765	6.765
	50 ppm	4.325*	1.219	.021	.560	8.090
	75 ppm	5.275*	1.219	.005	1.510	9.040
	100 ppm	11.175*	1.219	.000	7.410	14.940
25 ppm	0 ppm	-3.000	1.219	.153	-6.765	.765
	50 ppm	1.325	1.219	.811	-2.440	5.090
	75 ppm	2.275	1.219	.375	-1.490	6.040
	100 ppm	8.175*	1.219	.000	4.410	11.940

(I) konsentrasi	(J) konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
50 ppm	0 ppm	-4.325*	1.219	.021	-8.090	-.560
	25 ppm	-1.325	1.219	.811	-5.090	2.440
	75 ppm	.950	1.219	.933	-2.815	4.715
	100 ppm	6.850*	1.219	.000	3.085	10.615
75 ppm	0 ppm	-5.275*	1.219	.005	-9.040	-1.510
	25 ppm	-2.275	1.219	.375	-6.040	1.490
	50 ppm	-.950	1.219	.933	-4.715	2.815
	100 ppm	5.900*	1.219	.002	2.135	9.665
100 ppm	0 ppm	-11.175*	1.219	.000	14.940	-7.410
	25 ppm	-8.175*	1.219	.000	11.940	-4.410
	50 ppm	-6.850*	1.219	.000	10.615	-3.085
	75 ppm	-5.900*	1.219	.002	-9.665	-2.135

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets**luas penempelan**

Tukey HSD

konsentrasi	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
100 ppm	4	49.850		
75 ppm	4		55.750	
50 ppm	4		56.700	
25 ppm	4		58.025	58.025
0 ppm	4			61.025
Sig.		1.000	.375	.153

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Lampiran 5
Hasil ANOVA One Way Konsentrasi terhadap Biomassa
Biofouling

ANOVA

biomassa					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1022.047	4	255.512	317.480	.000
Within Groups	12.072	15	.805		
Total	1034.120	19			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

biomassa
 Tukey HSD

(I) konsentrasi	(J) konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0 ppm	25 ppm	10.4000*	.6344	.000	8.441	12.359
	50 ppm	14.7750*	.6344	.000	12.816	16.734
	75 ppm	16.2750*	.6344	.000	14.316	18.234
	100 ppm	21.1850*	.6344	.000	19.226	23.144
25 ppm	0 ppm	-10.4000*	.6344	.000	-12.359	-8.441
	50 ppm	4.3750*	.6344	.000	2.416	6.334
	75 ppm	5.8750*	.6344	.000	3.916	7.834
	100 ppm	10.7850*	.6344	.000	8.826	12.744

(I) konsentrasi	(J) konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
50 ppm	0 ppm	-14.7750*	.6344	.000	-16.734	-12.816
	25 ppm	-4.3750*	.6344	.000	-6.334	-2.416
	75 ppm	1.5000	.6344	.179	-.459	3.459
	100 ppm	6.4100*	.6344	.000	4.451	8.369
75 ppm	0 ppm	-16.2750*	.6344	.000	-18.234	-14.316
	25 ppm	-5.8750*	.6344	.000	-7.834	-3.916
	50 ppm	-1.5000	.6344	.179	-3.459	.459
	100 ppm	4.9100*	.6344	.000	2.951	6.869
100 ppm	0 ppm	-21.1850*	.6344	.000	-23.144	-19.226
	25 ppm	-10.7850*	.6344	.000	-12.744	-8.826
	50 ppm	-6.4100*	.6344	.000	-8.369	-4.451
	75 ppm	-4.9100*	.6344	.000	-6.869	-2.951

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets**biomassa**

Tukey HSD

konsentrasi	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
100 ppm	4	15.390			
75 ppm	4		20.300		
50 ppm	4		21.800		
25 ppm	4			26.175	
0 ppm	4				36.575
Sig.		1.000	.179	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Lampiran 6
Hasil Analisis Regresi Linear Faktor Luas Penempelan
Biofouling terhadap Biomassa Biofouling

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	luas penempelan ^a		.Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: biomassa

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df 1	df 2	Sig. F Change
1	.836 ^a	.699	.682	4.16141	.699	41.716	1	18	.000

a. Predictors: (Constant), luas penempelan

b. Dependent Variable: biomassa

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	722.407	1	722.407	41.716	.000 ^a
	Residual	311.712	18	17.317		
	Total	1034.120	19			

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df 1	df 2	Sig. F Change
1	.836 ^a	.699	.682	4.16141	.699	41.716	1	18	.000

a. Predictors: (Constant), luas penempelan

b. Dependent Variable: biomassa

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-61.296	13.246		-4.627	.000
	luas penempelan	1.517	.235	.836	6.459	.000

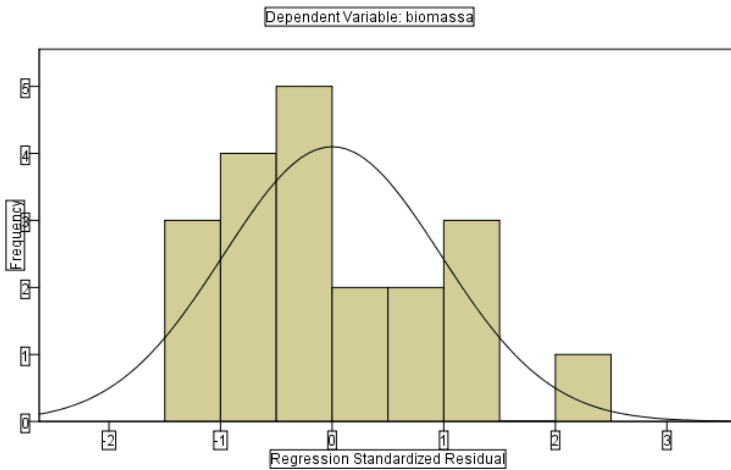
a. Dependent Variable: biomassa

Residuals Statistics^a

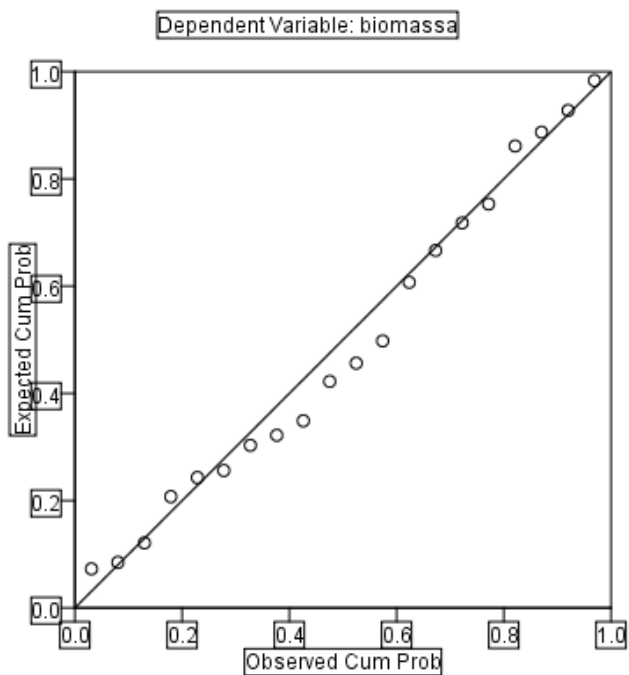
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	9.2299	33.9520	24.0480	6.16615	20
Residual	-6.06186	8.85643	.00000	4.05042	20
Std. Predicted Value	-2.403	1.606	.000	1.000	20
Std. Residual	-1.457	2.128	.000	.973	20

a. Dependent Variable: biomassa

Charts



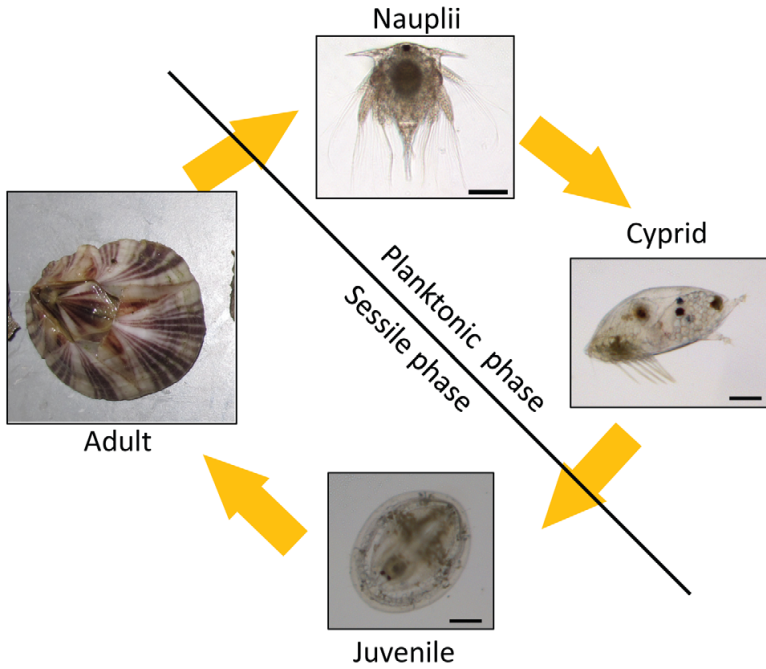
Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



Lampiran 7
Hasil Skrining Fitokimia Eksrtrak Ethanol Daun Ketapang
(*T. catappa*)

Senyawa	Pereaksi	Hasil	Kesimpulan
Alkaloid	Mayer	Terbentuk endapan putih	Positif
	Wagner	Terbentuk warna kemerahan	Positif
	Dragendroff	Terbentuk warna jingga	Positif
Terpenoid	Liebermann burchard	Terbentuk warna coklat kemerahan	Positif
Tanin	FeCl ₃	Terbentuk warna hijau kehita	Positif
Steroid	Liebermann burchard	Terbentuk warna kehijauan	Positif

Lampiran 8
Siklus Hidup Teritip *B. amphritite*



BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Mojokerto, 13 Mei 1993. Merupakan anak pertama dari empat bersaudara pasangan Bapak Abdul Rouf dan Ibu Alimah. Penulis memulai pendidikan dasar di SD Negeri Pandan, Pacet, Mojokerto. Setelah lulus SD, ia melanjutkan ke jenjang menengah pertama di SMP Negeri 1 Pacet. Setelah lulus SMP, ia melanjutkan ke jenjang menengah atas di SMA Negeri 1 Mojosari, Mojokerto. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Jurusan Biologi FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Pada jenjang ini, penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi keislaman, yaitu Forum Kajian Islam Qur'ani (FKIQ) Biologi ITS. Dalam organisasi ini, penulis menjabat sebagai kepala departemen Syi'ar selama satu tahun, dan diamanahi sebagai Ketua Umum tahun berikutnya.

Selain itu, penulis aktif mengikuti berbagai pelatihan dan seminar, diantaranya Latihan Ketrampilan Manajemen Mahasiswa (LKMM) Pra Tingkat Dasar, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah (PKTI) Jurusan Biologi ITS. Penulis juga aktif dalam kegiatan monitoring lingkungan dengan ikut berpartisipasi sebagai surveyor Laboratorium Ekologi Jurusan Biologi ITS, dan lain-lain. Penulis juga pernah menjadi panitia *International Biology Conference (IBOC)* yang diadakan oleh Jurusan Biologi ITS pada tahun 2012.