

**DISTRIBUSI DAN KEANEKARAGAMAN KISTA
DINOFLAGELLATA BERDASARKAN MORFOLOGI DAN
GENETIK DI TIGA MUARA SUNGAI BAGIAN SELATAN
PERAIRAN SULAWESI SELATAN**

**Distribution and Diversity of Dinoflagellate Cysts Based on Morphology and
Genetics in The Three Estuaries of the Southern Part, South Sulawesi Waters**

NUR INDA SARI S



**PROGRAM MAGISTER ILMU PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**DISTRIBUSI DAN KEANEKARAGAMAN KISTA
DINOFLAGELLATA BERDASARKAN MORFOLOGI DAN
GENETIK DI MUARA SUNGAI BAGIAN SELATAN PERAIRAN
SULAWESI SELATAN**

**Distribution and Diversity of Dinoflagellate Cysts Based on Morphology and
Genetics in The Three Estuaries of the Southern Part, South Sulawesi Waters**

NUR INDA SARI S

L012201008

THESIS

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai Gelar Magister

**PROGRAM MAGISTER ILMU PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

HALAMAN PENGESAHAN THESIS

Judul Thesis : Distribusi dan Keanekaragaman Kista Dinoflagellata di Tiga Muara Sungai Bagian Selatan Perairan Sulawesi Selatan

Nama : Nur Inda Sari S

Nomor Pokok : L012201008

Program Studi : Ilmu Perikanan

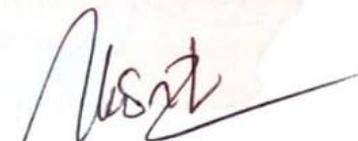
Thesis telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Utama,



Dr. Nita Rukminasari, SPi. MP
NIP. 196912291989022001

Pembimbing Anggota,



Dr. Ir. Nadiarti, M.Sc.
NIP. 196801061991032001

Mengetahui,

Dekan
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan
Universitas Hasanuddin



Safruddin, S.Pi., MP., Ph.D
NIP. 197506112003121003

Ketua Program Studi



Dr. Ir. Badraeni, MP
NIP. 196510231991032001

Tanggal Lulus : 27 Maret 2023

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Nur Inda Sari S
Nim : L012201008
Program Studi : Ilmu Perikanan
Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

Menyatakan bahwa thesis dengan judul "Distribusi dan Keanekaragaman Kista Dinoflagellata di Tiga Muara Sungai Bagian Selatan Perairan Sulawesi Selatan" ini adalah karya penelitian saya sendiri dan bebas plagiasi. Di dalamnya tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik, serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis digunakan sebagai acuan dalam naskah ini, yang artinya sumber yang disebutkan sebagai referensi dan dituliskan dalam daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiasi dalam karya ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan terkait (Permendiknas No.17 Tahun 2007).

Makassar, April 2023



Nur Inda Sari S
L012201008

PERNYATAAN KEPEMILIKAN TULISAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Nur Inda Sari S
Nim : L012201008
Program Studi : Ilmu Perikanan
Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

Menyatakan bahwa publikasi sebagian atau keseluruhan isi thesis pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seizin dan menyertakan tim pembimbing sebagai pemilik tulisan (*author*) dan Universitas Hasanuddin sebagai institusinya. Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya dua semester (satu tahun sejak pengesahan thesis) saya tidak melakukan publikasi dari sebagian atau keseluruhan thesis ini, maka pembimbing sebagai salah satu seorang dari penulis berhak mempublikasikannya pada jurnal ilmiah yang ditentukan kemudian, sepanjang nama mahasiswa tetap diikutkan.

Makassar, April 2023

Mengetahui
Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Badraeni, MP.
NIP. 196510231991032001

Penulis,



Nur Inda Sari S
NIM. L012201008

ABSTRAK

Nur Inda Sari S. L012201008. “Distribusi dan Keanekaragaman Kista Dinoflagellata Berdasarkan Morfologi dan Genetika di Tiga Muara Sungai Bagian Selatan, Perairan Sulawesi Selatan” dibimbing oleh **Nita Rukminasari** sebagai Pembimbing Utama dan **Nadiarti** sebagai Pembimbing Anggota.

Dinoflagellata merupakan salah satu jenis fitoplankton yang dapat menghasilkan kista istirahat pada kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan. Kista dinoflagellata memiliki peran penting dalam memprediksi fenomena Harmful Algal Blooms (HABs). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komposisi jenis, distribusi, dan keanekaragaman kista dinoflagellata berdasarkan morfologi dan genetika di tiga muara sungai bagian selatan Perairan Sulawesi Selatan. Pengambilan sampel dilakukan di tiga lokasi yaitu Muara Sungai Pappa, Muara Sungai Kelara, dan Muara Sungai Calendu pada bulan Januari 2022. Setiap lokasi terdiri atas 4 stasiun, 3 sub stasiun, dan 3 kali pengulangan sampel. Sampel kista dinoflagellata berasal dari dasar sedimen. Analisis morfologi menggunakan mikroskop cahaya dan mikroskop elektron (*Scanning Electron Microscope*). Analisis genetika dengan beberapa tahap yaitu tahapan ekstraksi DNA menggunakan Kit *Zymo Research*, Elektroforesis, PCR menggunakan primer *forward* Dino 18S F1 dan *reverse* Dino 18S R2, dan sekuensing. Hasil pengamatan kista dinoflagellata berdasarkan morfologi dari tiga lokasi penelitian ditemukan 34 spesies kista dinoflagellata dan 6 spesies kista dinoflagellata yang ditemukan berdasarkan analisis genetika (*Prorocentrum lima*, *Alexandrium affine*, *Gyrodinium aureolum*, *Durinskia capensis*, *Exuviaella pusilla*, dan *Peridinium foliaceum*). *Alexandrium minutum* merupakan salah satu spesies beracun yang mendominasi di semua lokasi penelitian. Distribusi kelimpahan kista dinoflagellata berkorelasi positif terhadap fraksi sedimen, semakin halus butiran sedimen maka semakin tinggi kelimpahan kista dinoflagellata. Keanekaragaman kista dinoflagellata di tiga muara sungai bagian selatan Perairan Sulawesi Selatan tergolong rendah diduga akibat rendahnya konsentrasi nutrient di lokasi penelitian.

Kata kunci : *Kista dinoflagellata, distribusi, keanekaragaman, morfologi, genetika, muara sungai, Perairan Sulawesi Selatan.*

ABSTRACT

Nur Inda Sari S, L012201008 "Distribution and Diversity of Dinoflagellate Cysts Based on Morphology and Genetics in The Three Estuaries of the Southern Part, South Sulawesi Waters" supervised by **Nita Rukminasari** as the main supervisor and **Nadiarti** as member supervisor.

Dinoflagellates are a type of phytoplankton that can produce resting cysts in unfavorable environmental conditions. Dinoflagellate cysts have an important role in predicting the phenomenon of Harmful Algal Blooms (HABs). This study aims to analyze the species composition, distribution, and diversity of dinoflagellate cysts based on morphology and genetics in the three estuaries of the southern part, South Sulawesi Waters. Sampling was carried out at three location, namely Pappa Estuary, Kelara Estuary, and Calendu Estuary, in Januari 2022. Each location consists of 4 stations, 3 sub-stations, and 3 sample repetitions. Samples of dinoflagellate cysts originate from the sediment bottom. Morphological analysis using light microscopy and electron microscopy (*Scanning Electron Microscope*). Genetic analysis with several stages, namely the stages of DNA extraction using the *KitZymo Research*, Electrophoresis, PCR using primers *forward* Dino 18S F1 and *reverse* Dino 18S R2, and sequencing. Observations of dinoflagellate cysts based on the morphology of the three study sites found 34 species of dinoflagellate cysts and 6 species of dinoflagellate cysts which were found based on genetic analysis (*Prorocentrum lima*, *Alexandrium affine*, *Gyrodinium aureolum*, *Durinskia capensis*, *Exuviaella pusilla*, dan *Peridinium foliaceum*). *Alexandrium minutum* is one of the toxic species that dominates in all research locations. The distribution of the abundance of dinoflagellate cysts has a positive correlation with the sediment fraction, the finer the sediment grains, the higher the abundance of dinoflagellate cysts. The diversity of dinoflagellate cysts in the three river estuaries in the southern part of the South Sulawesi waters is classified as low, presumably due to the low concentration of nutrients at the study site.

Keywords : *Dinoflagellate cysts, distribution, diversity, morphology, genetics, Estuary, South Sulawesi Waters.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan rahmat, inayah, taufik dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis Pascasarjana Program Magister, Program Studi Ilmu Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin dengan Judul “Distribusi dan Keanekaragaman Kista Dinoflagellata Berdasarkan Morfologi dan Genetik Di Muara Sungai Bagian Selatan Selat Makassar, Sulawesi Selatan”.

Dalam penyusunan tesis ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak yang merupakan sumber acuan dalam keberhasilan penyusunan tesis ini. Maka dari itu, pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati penulis sangat berterima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan kritik, saran serta solusi dalam menyelesaikan penelitian ini, yaitu yang terhormat:

1. Dr. Nita Rukminasari, S.Pi. MP. selaku pembimbing utama yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk terus belajar dan memperkaya ilmu, selalu meluangkan waktu dalam berdiskusi dan membimbing penulis ditengah kesibukannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan tesis ini tepat pada waktunya.
2. Dr. Ir. Nadiarti, M.Sc. sebagai pembimbing kedua yang telah meluangkan waktu membimbing penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini sebagaimana mestinya.
3. Dr. Aliah Hidayani, S.Si., M.Si., Dr. Irmawati, S.Pi., M.Si., dan Dr. Ir. Muh. Farid Samawi, M.Si. selaku penguji yang memberikan saran-saran yang membangun kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini.
4. Kepada Prof. Dr. Ir. Zainuddin, M.Si selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu Perikanan dan segenap Dosen Pascasarjana Program Studi Magister Ilmu Perikanan yang senantiasa mengajarkan dan menuntun penulis dalam penyusunan tesis ini.
5. Kepada Staf Kemahasiswaan Program Pascasarjana yang telah menuntun penulis dalam mengurus berkas administrasi selama penyusunan tesis ini.
6. Bapak Salengke dan Ibu Nurliah selaku orang tua yang telah mengasuh, membesarkan, mendidik penulis dengan seluruh kemampuannya serta ketabahan dan kesabaran juga doa-doa yang tak pernah henti sekarang dan selamanya dipanjatkan demi keberhasilan penulis dalam menuntut ilmu.
7. Kepada Nurdin *Family* : Israyanti, Irsan, Haerul, Ibu Syamsiah, Nenek Hawa, Dato Sangkala, Riskawati, Ridwan, Wahdaniah, Ratno, dan Putri Aulia yang telah

memberikan semangat dan dukungan yang tak terhingga sampai saat ini kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tesis ini.

8. Kepada seluruh saudara-saudariku MSP UNHAS 2015 khususnya Muh. Rais, Erick Renaldo Anggas, Adi Saputro, Rahmat Maulana, dan Hendrawan yang telah membantu penulis dalam pengambilan data lapangan yang diperlukan dalam penelitian.
9. Kepada seluruh rekan-rekan pada Program Magister Ilmu Perikanan khususnya, Hikmah Maulifiah Zaim, Muhammad Gazali, Ayu Muchlisa, dan Bapak Lalu Penta Febriyadi sebagai kawan diskusi yang selalu memberikan semangat, bantuan, dorongan, serta doanya selama pengerjaan tesis ini.
10. Semua pihak yang ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan tesis ini.

Harapan penulis, semoga tesis ini membantu menambah pengetahuan dan pengalaman bagi penulis pribadi, para pembaca dan segala amal baik serta jasa dari pihak-pihak yang turut membantu penulis diterima oleh Allah SWT dan mendapat berkah serta karunia-Nya. Aamiin.

Makassar, April 2023



Nurinda Sari S

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Nur Inda Sari S akrab dipanggil indah, lahir Di Sungguminasa Pada tanggal 24 November 1997 merupakan anak dari pasangan Bapak Salengke dan Ibu Nurliah. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan penulis dimulai pada umur 4 tahun di tahun 2002 Di TK Bonto Marannu, Makassar kemudian pada tahun 2003 penulis melanjutkan pendidikan dasar Di SDI Kelapa Tiga Satu, Makassar lalu pada tahun 2006 penulis pindah dan melanjutkan pendidikan dasar di SDI Sanrangan, Gowa dan lulus pada tahun 2009. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan Di SMP Negeri 1 Pallangga, Gowa dan lulus pada tahun 2012. Kemudian jenjang Pendidikan Menengah Atas Di SMA Negeri 20 Makassar dan berhasil lulus pada tahun 2015. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri Universitas Hasanuddin, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Departemen Perikanan di Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan pada tahun 2015 melalui jalur SBMPTN. Penulis berhasil menyelesaikan pendidikan Strata 1 pada Tahun 2019. Setelah itu, pada Tahun 2020 penulis melanjutkan pendidikan Strata 2 di Universitas Hasanuddin pada Program Studi Ilmu Perikanan.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEPEMILIKAN TULISAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
BIODATA PENULIS	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Kegunaan Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Dinoflagellata	4
B. Kista Dinoflagellata	10
C. Distribusi dan Keanekaragaman Jenis Dinoflagellata	13
D. Hipotesis	17
E. Kerangka Pikir	17
III. METODE PENELITIAN	20
A. Waktu dan Lokasi Penelitian	20
B. Alat dan Bahan	21
C. Prosedur Penelitian	23
D. Analisis Data	28
IV. HASIL	30
A. Morfologi Kista Dinoflagellata di Tiga Muara Sungai Bagian Selatan Perairan Sulawesi Selatan	30
1. Struktur Komunitas dan Komposisi Jenis Kista Dinoflagellata	30
2. Kelimpahan Kista Dinoflagellata	38
3. Distribusi Kista Dinoflagellata	39
4. Keanekaragaman, Keseragaman, Kekayaan, dan Dominansi Kista Dinoflagellata	41

B.	Genetika Kista Dinoflagellata di Tiga Muara Sungai Bagian Selatan Perairan Sulawesi Selatan	43
1.	Hasil Amplifikasi Pita DNA Sampel Kista Dinoflagellata	43
2.	Komposisi Jenis Kista Dinoflagellata Berdasarkan Genetika Hasil Penyejajaran Sekuensing.....	44
3.	Jarak Genetik Kista Dinoflagellata.....	45
C.	Faktor Lingkungan Kista Dinoflagellata di Tiga Muara Sungai Bagian Selatan Perairan Sulawesi Selatan	46
V.	PEMBAHASAN	48
A.	Morfologi Kista Dinoflagellata di Tiga Muara Sungai Bagian Selatan Perairan Sulawesi Selatan	48
1.	Struktur Komunitas dan Komposisi Jenis Kista Dinoflagellata	48
2.	Morfotipe Kista Dinoflagellata	50
3.	Distribusi dan Kelimpahan Kista Dinoflagellata.....	52
4.	Keanekaragaman, Keseragaman, Dominansi, dan Kekayaan Spesies Kista Dinoflagellata	53
B.	Genetika Kista Dinoflagellata di Tiga Muara Sungai Bagian Selatan Perairan Sulawesi Selatan	54
1.	Jenis Kista Dinoflagellata.....	54
2.	Jarak Genetik Kista Dinoflagellata.....	55
3.	Pohon Filogenik Kista Dinoflagellata	55
VI.	PENUTUP	57
A.	Kesimpulan	57
B.	Saran.....	57
	DAFTAR PUSTAKA.....	58
	LAMPIRAN	65

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Daftar spesies kista dinoflagellata yang ditemukan di tiga muara sungai bagian selatan Perairan Sulawesi Selatan	31
2. <i>Analysis of similarity</i> (ANOSIM).	37
3. <i>Similarity of percentage</i> (SIMPER).....	38
4. Hasil penyejajaran sekuensing kista dinoflagellata	45
5. Jarak genetik kista dinoflagellata	45
6. Nilai faktor lingkungan kista dinoflagellata	47
7. Matriks korelasi faktor lingkungan yang mempengaruhi kista dinoflagellata	47

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Fase reproduksi dinoflagellata	8
2. <i>Prorocentrum minimum</i>	13
3. <i>Coolia sp</i>	14
4. <i>Cochlodinium polykrokoides</i>	14
5. <i>Amphidinium massartii</i>	15
6. Skema kerangka pikir	19
7. Peta penelitian	20
8. Morfologi kista dinoflagellata menggunakan mikroskop cahaya	33
9. Morfologi kista dinoflagellata menggunakan <i>Scanning Electrone Microscope</i>	34
10. Komposisi jenis kista dinoflagellata di Muara Sungai Pappa	35
11. Komposisi jenis kista dinoflagellata di Muara Sungai Kelara	35
12. Komposisi jenis kista dinoflagellata di Muara Sungai Calendu	36
13. Plot nMDS struktur komunitas kista dinoflagellata.....	37
14. Kelimpahan kista dinoflagellata	39
15. Distribusi kista dinoflagellata di Muara Sungai Pappa.....	40
16. Distribusi kista dinoflagellata di Muara Sungai Kelara.....	40
17. Distribusi kista dinoflagellata di Muara Sungai Calendu.....	41
18. Indeks ekologi kista dinoflagellata.....	43
19. Hasil amplifikasi pita DNA sampel kista dinoflagellata	44
20. Pohon filogenik kista dinoflagellata	46

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Kromotogram hasil edit alignment.....	65
2. Hasil alignment pada NCBI	67
3. Dokumentasi Pengambilan Data Lapangan	74
4. Pemisahan Kista Dinoflagellata dari Sedimen.....	74
5. Analisis Morfologi Menggunakan Mikroskop Cahaya dan Mikroskop Elektron.....	74
6. Analisis Genetika Kista Dinoflagellata.....	76

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dinoflagellata adalah kelompok unik dari eukariota, mikroba yang memainkan berbagai peran ekologis penting, terutama sebagai inti dari jaring makanan yang bersimbiosis dengan invertebrata seperti karang (Murray *et al.*, 2012). Dinoflagellata juga berperan dalam pembentukan ganggang yang berbahaya dan seringkali beracun (Lin *et al.*, 2009). Dinoflagellata memiliki kemampuan yang unik dalam bertahan hidup dalam persaingan seleksi alam. Dalam kondisi yang baik dinoflagellata mampu berkembang biak secara massal di kolom air dalam bentuk sel-sel renang yang aktif membelah diri. Dalam kondisi lingkungan yang buruk dinoflagellata berhenti membelah diri dan kawin dimana zigot berlanjut pada tahap *encystment* sehingga membuahkan kista istirahat yang mampu bertahan hidup di dasar perairan sampai bertahun-tahun (Panggabean, 2006).

Beberapa dinoflagellata diketahui menghasilkan kista, yang merupakan bentuk imotil dari tahap istirahat atau tidak aktif yang dihasilkan sebagai adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan (Anderson, 1989). Produksi kista pada spesies dinoflagellata adalah bagian dari strategi kelangsungan hidup dan penyebarannya dimana kista dinoflagellata dalam dasar laut, tertimbun oleh sedimen. Jika kandungan oksigen dan kondisi lingkungan memungkinkan seperti suhu dan intensitas cahaya yang masuk ke dasar perairan tinggi, maka kista tersebut dapat melakukan proses perkecambahan dimana kista akan pecah dan mengeluarkan sel yang dapat berenang. Sel ini direproduksi oleh pembelahan sederhana dalam beberapa hari pengeraman (Yuliana, 2014). Kista dapat berfungsi sebagai tempat untuk bertahan hidup dinoflagellata selama kondisi lingkungan tidak menguntungkan. Pada tahapan kista, dinoflagellata dapat bereproduksi secara seksual, dapat berekombinasi genetik, serta dapat terjadi penyebaran melalui kista dinoflagellata (Mertens *et al.*, 2012). Tahapan kista dinoflagellata juga merupakan sumber keragaman genetik yang dapat meningkatkan potensi kelangsungan hidup populasi dinoflagellata. Kista dinoflagellata memiliki kepentingan ekologis yang besar karena dapat bertindak sebagai bank benih untuk dinoflagellata (Alpermann *et al.*, 2010).

Keberadaan kista dinoflagellata pada sedimen terkait erat dengan peristiwa atau kejadian yang terjadi pada suatu perairan diwaktu sebelumnya. Pengamatan kista pada suatu perairan dilakukan terutama untuk memprediksi kemungkinan terjadinya perkembangan pesat spesies dinoflagellata yang memicu terjadinya fenomena Marak Alga Berbahaya atau *Harmful Algal Blooms* (HABs). Distribusi dan keragaman baik morfologi maupun genetik dinoflagellata menjadi fokus penelitian di berbagai negara

seperti Korea, Jepang, Prancis, dan belahan benua lainnya selain dilakukan untuk mengidentifikasi dan memprediksi fenomena HABs yang semakin banyak terjadi juga untuk mengetahui keanekaragaman spesies dinoflagellata itu sendiri.

Dinoflagellata secara genetik beragam, dengan setidaknya 2.000 spesies dinoflagellata yang sudah teridentifikasi, 200 spesies yang teridentifikasi sebagai kista dinoflagellata, dan 80 spesies diketahui menghasilkan toxin. Penemuan spesies baru yang ditemukan secara terus-menerus menunjukkan bahwa ada kemungkinan lebih banyak garis keturunan dinoflagellata yang harus dikenali (Lin *et al.*, 2009). Identifikasi spesies dinoflagellata dan penemuan keanekaragaman spesies dengan menggunakan analisis morfologi secara tradisional sering terhambat oleh tingginya tingkat kesamaan morfologi dan kurangnya karakter unik antara spesies yang berbeda. Sebuah survei sistematis tentang keragaman morfologi dan genetik dinoflagellate perlu dilakukan untuk mengungkap keanekaragaman spesies dinoflagellata di lingkungan alami.

Penelitian tentang kista dinoflagellata di muara sungai Perairan Sulawesi Selatan telah dilakukan, tercatat ada 48 spesies kista dinoflagellata yang termasuk dalam 25 genus yang ditemukan pada sedimen di tiga muara sungai Selat Makassar yaitu Muara Sungai Jeneberang, Muara Sungai Maros dan Muara Sungai Pangkep (Rukminasari dan Tahir 2021). Muara Sungai merupakan tempat pertemuan antara air sungai dan air laut yang kemudian biasa disebut perairan payau. Muara sungai merupakan habitat yang paling disukai oleh berbagai organisme laut sehingga muara sungai memiliki nilai produktivitas perikanan yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan oleh masyarakat pesisir khususnya nelayan (Munadi, 2013). Peningkatan kegiatan antropogenik masyarakat pesisir yang kurang sadar akan pentingnya kondisi lingkungan mengakibatkan muara sungai menjadi tempat akhir pembuangan limbah organik maupun anorganik seperti limbah rumah tangga, limbah rumah sakit, limbah pertanian, maupun limbah budidaya perikanan.

Muara Sungai Pappa, Muara Sungai Kelara, dan Muara Sungai Calendu merupakan tiga muara sungai besar yang berada di bagian selatan Sulawesi Selatan yang belum memiliki informasi tentang keberadaan kista dinoflagellata, selain itu tiga muara sungai tersebut juga memiliki permasalahan seperti peningkatan aktivitas antropogenik yang dapat mengakibatkan kondisi lingkungan yang kurang bagus sehingga dapat menimbulkan potensi terjadinya fenomena Harmful Algal Blooms (HABs).

Oleh karena itu penelitian tentang distribusi dan keanekaragaman morfologi maupun genetik kista dinoflagellata di Indonesia khususnya di muara sungai bagian selatan Perairan Sulawesi Selatan dapat memberikan informasi tentang jenis, distribusi dan keanekaragaman dari kista dinoflagellata tersebut.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apa sajakah jenis kista dinoflagellata berdasarkan morfologi dan genetika yang terdapat di tiga muara sungai bagian selatan perairan Sulawesi Selatan ?
2. Bagaimanakah distribusi kista dinoflagellate berdasarkan morfologi dan genetik yang terdapat di tiga muara sungai bagian selatan Sulawesi Selatan ?
3. Bagaimanakah keanekaragaman kista dinoflagellata berdasarkan morfologi dan genetik yang terdapat di tiga muara sungai bagian selatan perairan Sulawesi Selatan ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi jenis kista dinoflagellata berdasarkan morfologi dan genetik di tiga muara sungai bagian selatan Perairan Sulawesi Selatan
2. Menganalisis pola distribusi kista dinoflagellate berdasarkan morfologi yang terdapat di tiga muara sungai bagian selatan Perairan Sulawesi Selatan
3. Menganalisis keanekaragaman kista dinoflagellata berdasarkan morfologi di tiga muara sungai bagian selatan Perairan Sulawesi Selatan

D. Kegunaan Penelitian

Hasil dari penelitian ini memberikan informasi mengenai jenis, distribusi dan keanekaragaman morfologi dan genetik kista dinoflagellata di tiga muara sungai bagian selatan Perairan Sulawesi Selatan (Muara Sungai Pappa Kabupaten Takalar, Muara Sungai Kelara Kabupaten Jeneponto, dan Muara Sungai Calendu Kabupaten Bantaeng).

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Dinoflagellata

1. Pengertian Dinoflagellata

Dinoflagellata atau dinophyceae termasuk organisme uniselular yang membentuk komponen penting dari plankton dan memiliki peranan besar di perairan laut, air payau, dan air tawar. Fenomena yang disebabkan oleh Dinoflagellata yaitu kemampuan *bioluminescence* dan pasang merah (*red tide*) atau *blooming* di perairan laut. Dinoflagellata adalah organisme bersel tunggal eukariotik motil yang merupakan salah satu kelompok utama dari plankton (Hoppenrath, Elbrachter dan Drebes, 2009). Dinoflagellata memberikan peran sentral dalam jaring makanan planktonik dan dapat bersifat autotrofik, heterotrofik atau mixotrofik (Laza-martinez, Orive dan Miguel, 2008).

Dinoflagellata secara geologis adalah kelompok yang mampu bertahan hidup cukup lama. Beberapa dinoflagellata menjadi fosil dan bertahan hidup sampai ratusan tahun lamanya. Mayoritas dinoflagellata adalah spesies planktonik dan bentik yang hidup bebas, tetapi dinoflagellata juga memiliki spesies yang dapat bersimbiosis dan parasit bagi ekosistem perairan. Kebanyakan dinoflagellata yang hidup bebas memiliki kemampuan fotosintesis karena ditemukan di zona eufotik. Heterotrof dan tahap kista biasanya terjadi di bawah zona ini atau di sedimen air dangkal dengan tingkat cahaya yang lebih rendah. Dinoflagellata yang dapat berfotosintesis berkontribusi pada dasar jaring makanan sebagai produsen utama; beberapa adalah mixotrofik, dan kemampuan fagositosis. Beberapa dinoflagellata, seperti *Kofoidinium* dan *Polykrikos*, memangsa dinoflagellata lain, telur copepode, naupli dan telur ikan (Steidinger dan Walker, 1984).

2. Habitat Dinoflagellata

Dinoflagellata dapat dijumpai disemua perairan di dunia, terutama di perairan tropis. Dinoflagellata dalam dekade terakhir ini menjadi perhatian yang cukup serius oleh para ilmuwan maupun masyarakat. Perhatian ini berkaitan dengan adanya fenomena *red-tide*, yaitu suatu fenomena alam yang sulit diduga dan menyebabkan terjadinya perubahan warna air laut (*discolouration*). Fenomena *red-tide* dari kelompok dinoflagellata yang bersifat racun dapat menimbulkan kematian pada organisme laut lainnya, bahkan dapat menimbulkan kematian pada manusia akibat proses akumulasi racun yang dikandungnya (Steidinger dan Walker, 1984).

Dinoflagellata selain ditemukan hidup sebagai organisme planktonik, juga dapat hidup sebagai organisme epibentik. Dinoflagellata epibentik dapat bersifat epifitik (yang

berasosiasi dengan makroalga dan lamun) atau bentik (menempel dipecahan atau puing karang, pasir, dan detritus) (Vila *et al.*, 2001).

Dinoflagellata epibentik umumnya memiliki kemampuan untuk memproduksi senyawa bioaktif, termasuk senyawa yang dapat mengontaminasi berbagai biota laut (Graham dan Wilcox, 2000). Dinoflagellata yang epibentik yang bersifat toksik dapat hidup di berbagai macam substrat seperti makroalga, lamun, pecahan karang, dan sedimen (Steidinger dan Walker, 1984).

Dinoflagellata fototrof berlimpah di habitat pelagis dan bentik dari ekosistem laut dan air tawar. Biasanya, dinoflagellata mencapai kelimpahan tertinggi di muara sungai dan perairan pesisir dimana pasokan nutrisi tinggi yang bersumber dari darat dan perairan yang mengalami upwelling (Not, 2012).

3. Beberapa Jenis Racun Dinoflagellata

Dinoflagellata merupakan salah satu mikroalga yang menjadi dasar dari rantai makanan di ekosistem perairan. Ketika kondisi lingkungan menguntungkan, spesies dinoflagellata dapat berkembang biak dengan kepadatan yang cukup tinggi. Beberapa spesies dinoflagellata dapat menghasilkan racun. Racun dinoflagellata atau racun mikroalga disebut juga fikotoksin yaitu metabolit sekunder yang menunjukkan berbagai senyawa dengan struktur kimia yang beragam dan tindakannya tergantung pada mekanisme toksisitas yang beragam. Dinoflagellata sebagai salah satu penyebab fenomena marak alga berbahaya (HAB) dapat memberikan efek yang kurang baik pada organisme perairan seperti kematian dangangguan reproduksi, selain itu marak alga berbahaya juga berakibat buruk pada kesehatan manusia yaitu melalui paparan langsung racun atau sebagai akibat dari bioakumulasi racun alga/dinoflagellata dalam makanan yang berasal dari perairan (Rukminasari, 2022).

Dinoflagellata menghasilkan sebagian besar racun. Mikroorganisme ini memiliki genom besar dimana beberapa diantaranya 100 kali lebih besar dari genom manusia yang dapat memperumit penggunaan pendekatan genetik modern (Lin, 2006). Berikut ini merupakan penjelasan tentang beberapa dinoflagellata beracun.

a. Racun yang Dihasilkan oleh Genus *Alexandrium*

Spesies *Alexandrium* yang berpotensi beracun bekisar antara 12 hingga 15 spesies yaitu *A. catenella*, *A. andersonii*, *A. australiense*, *A. cohorticula*, *A. fundyense*, *A. tamarensense*, *A. hiranoi*, *A. leei*, *A. minutum*, *A. monilatum*, *A. ostenfeldii*, *A. pacificum*, *A. peruvianum*, *A. pseudogonyaulax*, dan *A. taylori* (Ciminiello *et al.*, 2000; John *et al.*, 2014; Salgado *et al.*, 2015; Rukminasari, 2022).

Spesies *Alexandrium* menghasilkan berbagai turunan saxitoxin dan beberapa spesies mampu menghasilkan spirolides (SPXs), gymnodimines (GYMs), atau

goniodomis. Molekul STX teridentifikasi sebagai racun yang ada dalam jaringan *Alaska butter clam* dan kerang laut California yang memiliki rumus molekul $C_{10}H_{17}N_7O_4$. Gymnodimines adalah imina makrosiklik yang dihasilkan oleh spesies *Alexandrium* yaitu racun jenis GYM A, 12 methyl GYM A, GYM D, dan analog GYM (Harju *et al.*, 2016). Goniodomin adalah polieter makrosiklik yang ditemukan berasal dari dinoflagellata *Alexandrium hiranoi*. Struktur kimia goniodomin mirip dengan pectenotoxin (PTXs) (Espiña *et al.*, 2016).

Dampak racun STX ketika diserap oleh tubuh manusia melalui konsumsi kerang atau jaringan yang terkontaminasi yaitu akan menimbulkan sindrom PSP dimana (Deeds, 2008). Gejala akan muncul 10 menit hingga 2 jam setelah konsumsi kerang yang terkontaminasi, berbagai gejala seperti parestesia bukal, mati rasa pada bibir yang dapat meluas ke wajah dan leher, dan dalam dosis yang tinggi dapat menimbulkan sakit kepala, mual, muntah, disfagia, disartria, ataksia, penurunan efisiensi ventilator, dan pada kasus yang parah dapat menimbulkan kematian karena kelumpuhan otot pernafasan (Deeds, 2008; Rukminasari, 2022).

b. Racun yang Dihasilkan Oleh Genus *Prorocentrum*

Asam okadat (OA) adalah polieter linier yang diturunkan dari asam lemak C38 dengan rumus kimia $C_{44}H_{68}O_{13}$. OA merupakan jenis toksin yang ditemukan pada spesies *Prorocentrum lima* (Murakami *et al.*, 1991). Sifat OA yang lipofilik dan stabil terhadap panas mengakibatkan racun OA terakumulasi dalam daging kerang dan dapat menimbulkan efek mabuk pada manusia yang mengkonsumsi kerang yang terkontaminasi. Racun ini memicu terjadinya DSP dalam tubuh manusia dimana gejala yang dominan yang ditimbulkan adalah nyeri perut, mual, muntah, dan diare (Grattan, Holobaugh dan Morris, 2016; Rukminasari, 2022).

c. Racun yang Dihasilkan Oleh *Gambierdiscus*

Spesies *Gambierdiscus* yang berpotensi beracun berkisar 18 spesies dengan racun yang dihasilkan adalah Ciguatoxin (CTXs) yang merupakan racun eter polisiklik, sangat teroksigenasi, larut dalam lemak dan tahan panas. CTX memiliki struktur berbentuk tangga kaku yang terdiri dari 13-14 cincin eter (Caruana *et al.*, 2019). Ciguatoxin yang dihasilkan oleh *Gambierdiscus* dapat terakumulasi dalam jaringan ikan sehingga dapat menimbulkan keracunan ikan bagi manusia. Ciguatoxin dapat mengikat natrium dan menyebabkan aktivasi terus menerus dari saluran ini. Racun ini menyebabkan peningkatan pemasukan ion Na^+ ke dalam sel pascasinaps dan depolarisasi membran yang menyebabkan peningkatan rangsangan saraf dan pembengkakan sel (Vale, Antelo dan Martín, 2015).

4. Dinoflagellata Sebagai Penyebab (Harmful Algal Blooms) HABs

Dinoflagellata merupakan kelas fitoplankton yang sangat dominan pada kejadian HABs dan sering dihubungkan dengan meningkatnya masukan nutrisi ke ekosistem pesisir sebagai konsekuensi aktivitas manusia. HABs ini banyak terjadi di area dimana aktivitas manusia atau populasi manusia tidak diperhatikan peningkatannya dan merupakan faktor-faktor yang berkontribusi dalam kejadian tersebut (Mujib, Damar dan Wardiatno, 2015).

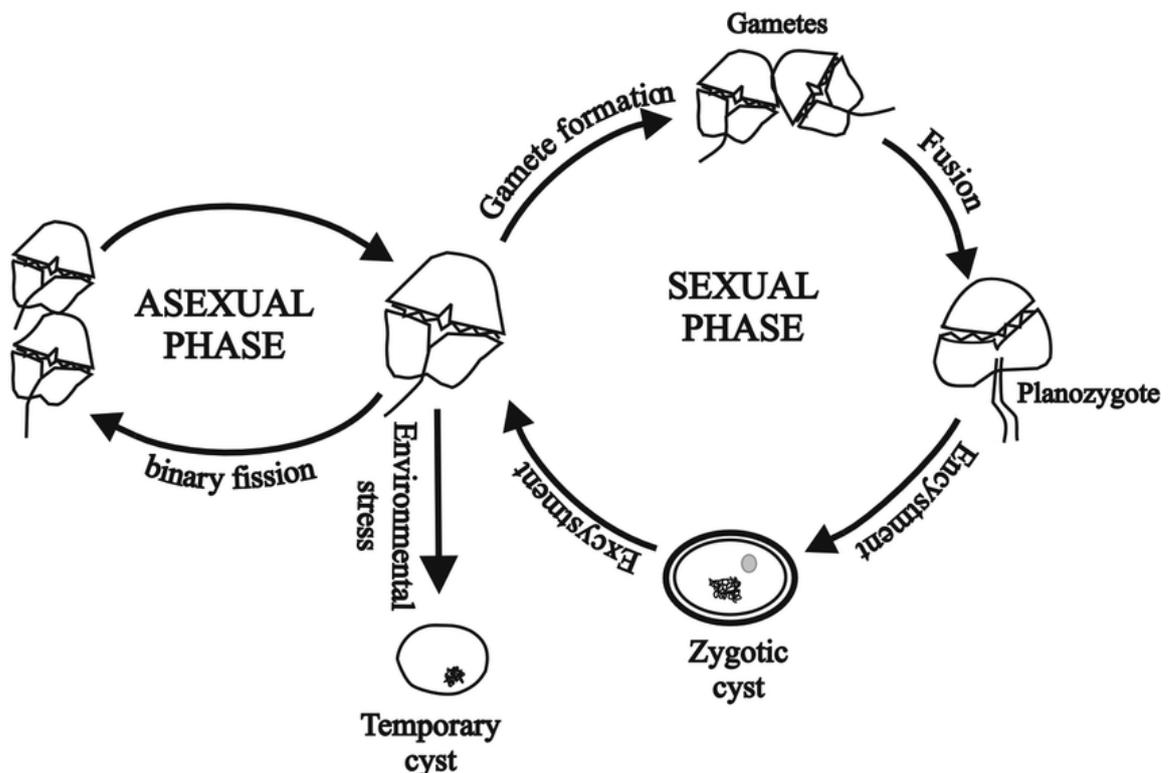
Toksin yang dihasilkan oleh dinoflagellata epibentik adalah *Ciguatoxin*, yang dapat menyebabkan *Ciguatera Fish Poisoning* (CFP) atau ciguatera. Ciguatera adalah gejala keracunan yang dialami oleh manusia maupun hewan mamalia lain, yang umumnya dialami setelah mengonsumsi berbagai macam ikan-ikan laut tropis yang berasosiasi dengan terumbu karang (De Sylva, 1994).

Gangguan yang ditimbulkan dari CFP antara lain gangguan saluran pencernaan akut dan gangguan sistem syaraf (Anderson, Glibert dan Burkholder, 2002) Toksin tersebut masuk melalui rantai makanan dimana dinoflagellata epibentik toksik yang menempel pada substrat makroalga, lamun, maupun sedimen akan dikonsumsi oleh ikan herbivora yang memakan substrat tersebut, kemudian ikan herbivora akan dimakan oleh ikan karnivora. Toksin tersebut kemudian akan terakumulasi pada ikan karnivora yang biasa dikonsumsi oleh manusia (Fraga *et al.*, 2012).

Akumulasi besar fitoplankton, makroalga dan, kadang-kadang, protista heterotrofik tak berwarna semakin banyak dilaporkan di seluruh wilayah pesisir di semua benua. Agregasi organisme ini dapat mengubah warna air sehingga menimbulkan pasang surut merah, mahoni, coklat, atau hijau, dapat mengapung di permukaan dengan buih, menutupi pantai dengan biomassa atau eksudat (busa), dan menguras kadar oksigen melalui respirasi atau dekomposisi yang berlebihan. Sebagai alternatif, spesies tertentu dalam ganggang berbahaya (HABs) dapat menggunakan efeknya melalui sintesis senyawa (misalnya racun) yang dapat mengubah proses seluler organisme lain dari plankton ke manusia. Peristiwa HAB oleh toxin producer disebabkan metabolit sekunder, yang bersifat toksik dari dinoflagellata penyebab HABs. Toksin tersebut dapat terakumulasi pada biota perairan seperti ikan dan kerang. Toksin tersebut dapat menyebabkan peristiwa keracunan, yaitu *Diarrhetic Shellfish Poisoning* (DSP), *Paralytic Shellfish Poisoning* (PSP), *Neurotoxic Shellfish Poisoning* (NSP), *Amnesic Shellfish poisoning* (ASP), dan *Ciguatera Fish Poisoning* (CFP). Baik peristiwa *red tide* maupun *toxin producer*, keduanya memberikan dampak negatif, yang harus dicegah untuk memproteksi kesehatan masyarakat (Furuya *et al.*, 2010).

5. Reproduksi Dinoflagellata

Menurut (Matsuoka dan Fukuyo, 2000), dinoflagellata merupakan sel tunggal yang predominan, eukaryotik, termasuk organisme kelompok berflagel baik yang berfotosintesis dan non-fotosintesis. Tercatat sedikitnya 2000 jenis dan 2000 fosil sudah dideskripsikan, dimana diantaranya hanya 80 jenis yang mempunyai kista (*resting cyst*), dimana dalam siklusnya mengalami proses pembelahan menjadi zigot (*diploid stage*). Pada kondisi lingkungan yang sesuai reproduksi aseksual dinoflagellata dapat berlangsung dengan singkat. Pembelahan ganda yang tergantung dari jenisnya berlangsung dengan kisaran waktu antara 1- 15 hari.



Gambar 1. Fase reproduksi dinoflagellata (Sumber Gambar: (Matsuoka dan Fukuyo, 2000)

Dalam istilah yang paling sederhana, dinoflagellata bereproduksi secara aseksual dengan pembelahan biner. penyatuan melintang atau miring dan dalam biner yang terbagi, bentuk yang tunggal biasanya sejajar satu sama lain (Gambar 1).

Steidinger dan Walker (1984) mengemukakan beberapa pola dasar ditemukan pada reproduksi dinoflagellata. Satu pola pembelahan membagi teka antara sel anak dan masing-masing menambahkan lempeng yang hilang selama pertumbuhan. Pola pembagian ini ditemukan di antara lain *Ceratium* dan *Pyrodinium bahamense*. Dalam genera lain, seperti beberapa *Peridinium* air tawar dan laut dan *Glenodinium* teka induk mengeluarkan dan melepaskan sel buatan yang membelah menjadi dua atau lebih sel anak. Sel anak ini kemudian menghasilkan teka baru. Pada beberapa spesies dari genus laut *Pyrocystis*, sel anakan berflagel ganda dilepaskan dan dengan

cepat melepaskan tekanya dan membengkak sampai seukuran sel induk. Pada spesies *Pyrocystis* lain, sel anak berupa planospora tak berflagel, berflagel atau tak berflagel, atau aplanospora tak berflagel. Pada beberapa spesies pembentuk rantai, seperti *Gonyaulax monilata*, sel anak di alam biasanya tidak terpisah kecuali jika terganggu secara fisik, dan dapat membentuk rantai hingga 32 sel atau lebih. Dalam keadaan kultur, spesies ini dapat menghasilkan sel soliter yang lebih besar.

Pembelahan terjadi pada sel yang berada pada keadaan fisiologis optimal di bawah kondisi fisik yang sesuai dari cahaya, suhu, nutrisi, salinitas, dll. Jika kondisi lingkungan menjadi tidak sesuai, dinoflagellata dapat membentuk tahap kista sementara untuk bertahan hidup. Kista sewaktu-waktu dapat beristirahat karena adanya perubahan kondisi yang cepat, seperti kenaikan atau penurunan suhu secara tiba-tiba, cahaya, atau salinitas, dapat menyebabkan sel kehilangan flagel dan menjadi tidak bergerak. Bentuk kista yang tidak memiliki flagel akan banyak ditemukan. Sel dapat mempertahankan keadaan ini untuk waktu yang terbatas dan jika kondisi lingkungan yang sesuai dapat kembali maka kista akan kembali untuk berkembang lebih pesat. Penurunan kondisi lingkungan yang lebih lama dapat menyebabkan pembentukan kista bertahan lebih lama di dasar perairan atau substrat lainnya. Pada kondisi ini flagel dilepaskan dan dalam beberapa kasus, kista memproduksi lendir yang dapat membantu kelangsungan hidup sampai kondisi lingkungan yang sesuai kembali (Steidinger dan Walker, 1984).

Siklus seksual umum diilustrasikan pada Gambar 1. Di bawah kondisi yang sesuai, gamet diproduksi yang menyatu untuk membentuk planozigot diploid. Planozigot dapat dengan mudah diidentifikasi di bawah mikroskop cahaya oleh dua flagel longitudinal. Planozigot dapat mengalami meiosis atau, dalam banyak kasus, berkembang menjadi kista atau hipnozigit yang resisten. Hipnozigit dicirikan oleh dinding sel yang tebal dan tahan, dan pada sebagian besar spesies, memerlukan periode dormansi. Meiosis dapat terjadi di dalam kista atau setelah eksisi untuk mengembalikan kondisi haploid vegetative (Steidinger dan Walker, 1984).

Fase seksual dinoflagellata memiliki perbedaan secara detail di antara berbagai spesies dinoflagellata. Gamet umumnya dikenali lebih kecil dari sel vegetatif. (Von Stosch, 2007) mengaitkan ini dengan "mitosis depauperate" di mana sel membelah sebelum sintesis sitoplasma selesai, menghasilkan produk pembelahan yang lebih kecil. Gamet yang membelah dengan ukuran yang sama disebut isogami, atau gamet yang membelah dengan ukuran yang berbeda disebut anisogami. Gamet mungkin lebih gelap atau lebih terang dari sel vegetatif. Nukleus sangat menonjol. Pembelahan biasanya terjadi selama siklus gelap. Sesaat sebelum pembelahan, perilaku "bergerak

aktif" dapat terjadi selama kelompok gamet tunggal berkumpul, kemudian berpasangan.

Planozigot yang dihasilkan dicirikan dengan dua flagel longitudinal sepanjang perkembangannya. Salah satu flagel transversal akan hilang atau diserap kembali di beberapa tempat. Selama tahap planozigot, inti sel berpindah sehingga berdekatan satu sama lain dan memulai proses pembelahan. Planozigot di sebagian besar spesies membesar dan berwarna gelap. Planozigot dapat menetap seperti spesies pada *Amphidinium carterae*, atau tetap bergerak untuk waktu yang bervariasi. Pada akhirnya planozigot melepaskan flagelnya dan kemudian berkembang sehingga memiliki tiga lapis dinding sel yang menebal. Tahap *encysted* ini disebut hipnozigot. Dinding kista yang tebal memberikan ketahanan yang luar biasa terhadap zigot. Dinding yang tebal tahan terhadap degradasi bakteri, suhu dan salinitas yang ekstrem, kondisi buruk sampai tingkatan tertentu sampai pada kondisi kering. Dinding merupakan penghalang efektif terhadap penetrasi banyak strain dan fiksatif (Steidinger dan Walker, 1984).

Sebagian besar spesies memiliki periode dormansi yang diperlukan sebelum proses *excystment* terjadi. Setiap upaya untuk menginduksi *excystment* selama periode ini biasanya tidak berhasil. (Anderson, Glibert dan Burkholder, 2002) menunjukkan pentingnya suhu selama dormansi dimana suhu yang lebih rendah akan menghasilkan periode dormansi yang lebih lama. Hal ini dapat berhubungan dengan tingkat metabolisme yang lebih rendah dan perubahan biokimia dan fisiologis yang diperlukan yang harus terjadi di dalam kista sebelum proses *excystment* dapat terjadi. Pemicu *excystment* setelah masa dormansi dapat berupa perubahan suhu, cahaya, beberapa pemicu endogen seperti cadangan makanan atau kombinasi pemicu endogen dan eksogen. Kista yang disimpan pada suhu 5°C dan 22°C masing-masing merespons kenaikan dan penurunan suhu. Ada atau tidak adanya cahaya tidak berpengaruh. Kista yang disimpan pada suhu 22°C memiliki masa dormansi yang lebih cepat daripada yang disimpan pada suhu 5°C.

B. Kista Dinoflagellata

1. Pengertian Kista Dinoflagellata

Secara ontologis, dinoflagellata dapat dikatakan kista jika berada pada keadaan istirahat sementara (*pellicle*), zigot yang sudah tidak aktif (hipnozigot), atau tahap kokoid di mana sel masih aktif secara fotosintesis (Anderson, Glibert dan Burkholder, 2002).

Tidak selalu mudah untuk membedakan keadaan kista dinoflagellata. Menurut Dale dan Fjellsa (1994) kista pelikel dapat diproduksi pada tahap yang berbeda dalam

siklus hidup, yaitu untuk menahan kondisi buruk sementara, setelah *excystment* (penumpahan teka) dan sebagai tahap dalam reproduksi aseksual.

(Figueroa *et al.*, 2006) menunjukkan bahwa tahap siklus hidup seksual dan aseksual dapat menyebabkan pembentukan kista pelikel. Umumnya, kista pelikel berdinding tipis, berlapis tunggal, dan tidak memiliki ornamen dan produk penyimpanan. Seringkali hanya ketika kista istirahat diamati bahwa kista pelikel berdiferensiasi dan beberapa kista istirahat yang dijelaskan adalah kista pelikel. Sebaliknya, kista istirahat secara tradisional dikaitkan dengan siklus seksual (Von Stosch, 1973) kista pelikel secara morfologis berbeda dari tahap motil, sering memiliki ornamen, produk penyimpanan yang ada, dan kista ini dapat membentuk fosil dan atau tetap hidup dalam sedimen. Namun, kista ini mungkin tidak selalu merupakan hasil dari reproduksi (Kremp dan Parrow, 2006).

Kista dinoflagellata menjadi perhatian utama karena perbedaan morfologisnya, kista membentuk fosil dan memiliki arti paleoekologis dimana kista dinoflagellata penting secara ekologis. Kista telah dikaitkan dengan teka tertentu melalui kesamaan morfologi dan atau kejadian bersama pada populasi yang sama; kista juga telah dihubungkan oleh perkecambahan kista itu sendiri (Wall, Dale dan Wall, 2014).

Kumpulan kista fosil yang diekstraksi dari sedimen juga merupakan organisme yang berguna untuk merekonstruksi kondisi lingkungan dan oseanografi pada saat pengendapan sedimen (Lewis dan Montresor, 2013). Kista dinoflagellata telah terbukti menjadi pelacak yang baik dari produktivitas primer laut, yang mencerminkan perubahan status trofik ekosistem perairan, seperti polusi yang disebabkan oleh manusia (Zonneveld *et al.*, 2012).

2. Peran Kista Dinoflagellata Di Perairan

Menurut (Anderson dan Morel, 1979) ada 3 peran penting kista dinoflagellata dari aspek ekologi HABs, yaitu:

a. Sumber inokulum

Kista yang berada dalam substrat dengan sedimen lumpur dalam keadaan istirahat sampai tiba waktunya masak, berkecambah dan muncul kembali ke perairan serta membelah diri secara missal dapat mengakibatkan terjadinya fenomena HAB. 'Cyst bed', yang berarti hamparan atau kumpulan tempat dimana kista dinoflagellata istirahat berkumpul di dalam sedimen lumpur dikhawatirkan sebagai penyebab utama sumber 'ledakan' populasi spesies dinoflagellata penyebab HAB. Pertumbuhan sel-sel haploid dinoflagellata lebih lambat dibandingkan dengan sel-sel vegetatif spesies mikroalgae lainnya, namun kista dinoflagellata mampu bersaing untuk

mempertahankan eksistensinya. Fenomena HAB sebenarnya terjadi karena kista dinoflagellata suka bergerombol dan kebanyakan memproduksi toksin.

b. Sumber toksin

Sel-sel renang dinoflagellata suka bergerombol dan saling tertarik dengan sesamanya hingga mereka bisa tumbuh, menjadi satu kesatuan populasi monospesies yang besar. Selain bergerombol dalam integritas yang kuat, sel-sel vegetatif dinoflagellata umumnya memproduksi toksin berbahaya yang larut dalam air atau lemak. Toksin bioaktif tersebut mampu menghambat pertumbuhan fitoplankton lainnya. Dinoflagellata beracun ada 11 jenis, yaitu : Alexandrium, Gonyaulax, Pyrodinium, Gambierdiscus, Dinophysis, Ostreopsis, Prorocentrum, Amphidinium, Gymnodinium, Ptychodiscus dan Gyrodinium. Tujuh jenis termasuk jenis-jenis yang mempunyai cangkang (*armoured species*), dan empat lainnya tanpa cangkang (*unarmoured species*). Spesies kista dinoflagellata yang beracun sangat berbahaya dalam peranannya sebagai rantai dasar makanan dalam ekosistem.

Toksin bioaktif dinoflagellata bekerja pada sistem hemolitik, neurotoksik dan gastrointestinal konsumernya. Kerang-kerangan merupakan konsumen terbesar yang mengkonsumsi dinoflagellata diantara biota-biota lainnya. Kerang-kerangan termasuk ke dalam golongan '*filter feeder*' yang berarti menyaring makannya tersebut mampu menyaring melalui insangnya dimana partikel dinoflagellata dapat tersaring dalam jutaan sel/menit. Jika dinoflagellata toksik ikut termakan maka toksin dinoflagellata akan terakumulasi dalam tubuh kerang tanpa memberikan efek yang signifikan terhadap kerang itu sendiri. Kerang yang beracun dapat hidup normal, rasanya tidak berbeda dengan kerang yang tidak terkontaminasi, tetapi sudah menjadi sumber makanan beracun bagi lingkungannya.

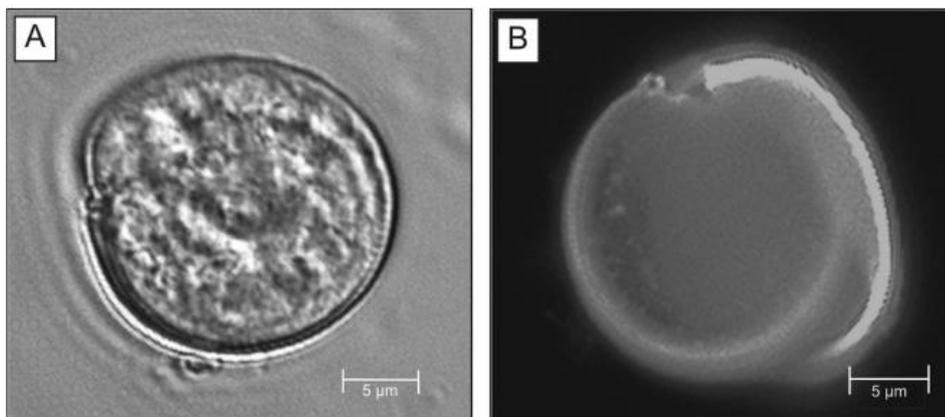
c. Sumber penyebaran HAB

'*Cyst bed*', selain berperan sebagai sumber inokulum HAB, juga merupakan '*point source*' atau sumber utama penyebaran HAB. Dinamika arus dan nutrien ikut berperan dalam penyebaran geografisnya. Jika arus membawa suatu massa air yang mengandung benih kista yang sedang aktif berkembang biak, maka 'benih' tersebut akan menginokulasi wilayah sekitarnya. Jika massa air tersebut sampai terperangkap di daerah 'subur' karena kondisi frontal batas pulau, teluk, atau kondisi geografis lainnya, maka mereka akan terus berkembang biak sampai nutrien di wilayah baru habis terserap, lalu membentuk sel-sel gamet, kawin dan membentuk kista baru atau membentuk '*cyst bed*' di wilayah baru.

C. Distribusi dan Keanekaragaman Jenis Dinoflagellata

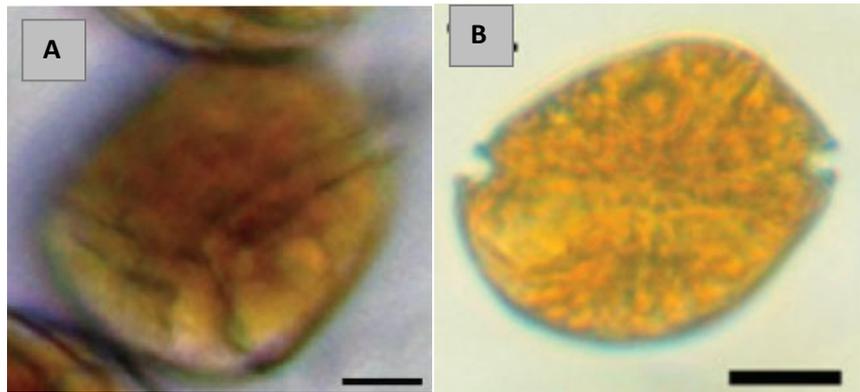
1. Morfologi Kista Dinoflagellata

Terlepas dari keragaman habitat dan keberadaannya, semua dinoflagellata memiliki sejumlah karakter unik. Dinoflagellata bersel tunggal meskipun beberapa dapat membentuk rantai atau koloni. Semua dinoflagellata memiliki nukleus unik pada tahap tertentu dalam sejarah hidupnya. Nukleus ini mengandung kromosom yang terus menerus terkondensasi dan disebut dinocaryotic. Karakteristik lain dari semua dinoflagellata kecuali *Noctiluca* adalah ketepatan, pada tahap tertentu, dari dua flagela yang berbeda. Flagel longitudinal dan flagel transversal, yang terletak di alur atau cingulum yang mengelilingi sel, bekerja sama untuk mendorong dan menstabilkan sel. Spesies fotosintetik biasanya memiliki pigmen xantofil yang khas, peridinin. Dinoflagellata dapat dikategorikan menjadi dua kelompok besar berdasarkan struktur dinding selnya. Bentuk lapis baja memiliki selulosa atau pelat polisakarida lainnya dalam vesikel antara membran. Bentuk yang tidak berlapis baja menempelkan pelat-pelat ini (Steidinger dan Walker, 1984).



Gambar 2. *Prorocentrum minimum* (A) Nukleus yang berada di tengah; (B) pengamatan di bawah mikroskop cahaya (Sumber Gambar: Rozirwan 2010)

(Rozirwan, 2010) dalam pengamatan morfologi yang dilakukan pada spesies *Prorocentrum minimum* (Gambar 2) dengan menggunakan mikroskop elektron menunjukkan bentuk sel oval dan tidak simetris. Permukaan sel secara keseluruhan ditumbuhi oleh duri-duri dan lubang-lubang trikosis yang halus. Daerah periflagela berbentuk 'V' dan memiliki duri yang mirip seperti kelopak bunga. Kolar periflagela bercabang, memiliki duri apikal pendek, dan juga terdapat pedunkel. Gelang interkalari berjalur melintang yang tersusun oleh duri-duri. Spesies *P. minimum* memiliki panjang 14-22 µm dan lebar 10-15 µm. Pada kajian-kajian lain dinyatakan juga bahwa ukuran sel *P. minimum* lebih besar berbanding dengan *P. balticum*.



Gambar 3. *Coolia* sp. (A) *Coolia canariensis*; (B) *Coolia monotis* (Sumber Gambar: Laza-martinez, Orive, dan Miguel 2008)

Coolia canariensis (Gambar 3) memiliki bentuk morfologi yang hampir bulat dengan ukuran panjang 28-43 mm dan lebar 28–44 mm. Seperti pada spesies lain dalam genus yang sama, lempeng-lempeng tulang tidak sama dalam ukuran dan bentuk, dan tersusun dalam pola yang tidak teratur. Pelat apikal yang merupakan lempeng epithecal terbesar, menempati bagian tengah epitheca dan dibatasi oleh pori apikal yaitu hampir 8 mm panjang, dan dengan pelat berbentuk heksagonal, memanjang dan tumpang tindih dengan pelat berbentuk segi lima, agak berbentuk baji. *Coolia monotis* berbentuk bulat pada tampilan apikal dan terkompresi anteroposterior. Sumbu anterior-posterior secara khas miring, dengan titik dorsal paling tebal di epitel dan ventral di hipoteka. Ukuran panjang sel berkisar dari 26 -37 mm dan lebar 23-37 mm. Permukaan rangka halus dengan pori-pori bundar besar yang tersebar. Selain itu, terdapat beberapa pori kecil atau perforasi yang terletak di dalam pori-pori besar (Laza-martinez, Orive dan Miguel, 2008).



Gambar 4. *Cochlodinium polykrikoides* (Sumber Gambar: Iwataki et al. 2008)

Dinoflagellata yang tidak memiliki cangkang seperti *Cochlodinium polykrikoides* (Gambar 4), dikenal sebagai spesies pasang merah berbahaya yang terkait dengan

kematian massal ikan terutama di daerah pesisir Asia Timur dan Amerika Utara dan Tengah (Iwataki *et al.*, 2008). Spesies ini adalah dinoflagellata planktonik tanpa pelindung yang membentuk rantai sel, ia memiliki sulkus dangkal di tengah dua cingula pada tampilan dorsal dan kloroplas granular. Alur apikal spesies ini memiliki pori bintik mata dan sambungan ke ekstensi sulcal yang berbeda di bagian tengah yang menyempit (Iwataki, Kawami dan Matsuoka, 2007).



Gambar 5. *Amphidinium massartii* (Sumber Gambar: Murray *et al.* 2012)

Amphidinium massartii memiliki bentuk sel yang bervariasi, dari oval, bulat, atau bulat telur. Ukuran sel dengan panjang 8.4-16.0 μm , (rata-rata 11,3 μm), memiliki ukuran lebar 7,7-12,5 μm (rata-rata 10 μm). Sel *Amphidinium massartii* sedikit pipih secara dorso-ventral. Flagel longitudinal disisipkan, 0,6 ke bawah sel. Ada punggungan ventral menonjol yang berjalan di antara posisi penyisipan. Inti membulat, di bagian belakang sel. Pada permukaan sel, struktur bulat kecil yang berukuran kurang dari 100 nm. Plastidnya tunggal, dengan lobus sempit yang menjalar dari daerah pusat, dan mengandung pirenoid yang dilapisi pati berbentuk cincin bening sekitar 3 μm diameter. Gumpalan merah, kemungkinan produk degradasi plastik seperti yang sering diamati (Murray *et al.*, 2012).

2. Genetika Kista Dinoflagellata

Genetika kista dinoflagellata dapat diketahui berdasarkan beberapa metode salah satunya penyelesaian dari primer yang digunakan diperiksa dengan menyimpulkan pohon filogenetik berbasis jarak, menggunakan urutan yang mana penelitian ini dilakukan oleh (Lin *et al.*, 2009) yang menemukan bahwa pohon UPGMA dan ML yang dihasilkan adalah kongruen dengan pohon yang direkonstruksi dari kumpulan data tiga gen. Pada pohon-pohon ini, spesies dan genera yang berbeda dalam ordo utama dinoflagellata dipisahkan dengan baik sedangkan strain intraspesifik menunjukkan divergensi genetik yang rendah.

Kemajuan terbaru dalam analisis genetik berdasarkan DNA adalah menggunakan mitokondria DNA yang cocok digunakan untuk analisis pada tingkat spesies dan telah dilakukan pada berbagai target gen (Masters dan Boniotta, 2007).

Genetik memiliki banyak kelebihan untuk mempelajari karakteristik karena sedikit sekali mengalami delesi dan insersi pada sekuennya, serta banyak bagian yang bersifat *conserve* (lestari) sehingga dapat digunakan sebagai DNA barcoding pada sebagian besar spesies (Hebert, Ratnasingham dan DeWaard, 2003).

a. Teknik Biologi Molekular Menggunakan *Polymerase Chain Reaction* (PCR)

Polymerase Chain Reaction (PCR) merupakan metode untuk membuat salinan atau segmen spesifik dari suatu DNA. Metode ini bertujuan untuk mengembangkan metode yang lebih efektif dan efisien dalam amplifikasi DNA. PCR memiliki kelebihan dibandingkan dengan teknik amplifikasi lainnya seperti dapat menghasilkan ampikon yang lebih spesifik dan akurat terhadap DNA target, mudah dilakukan secara otomatis dengan menggunakan alat yang sederhana, dan dapat memperbanyak sampel dalam waktu yang relative singkat. Namun PCR juga memiliki kekurangan yaitu relative mahal, rentan terhadap kontaminasi, membutuhkan ketelitian yang tinggi, dan tidak dapat mengekspresikan mutasi (Yusuf, 2010).

Proses PCR secara umum terbagi menjadi tiga tahap, yaitu denaturasi, pelekatan (*annealing*), dan ekstensi. Denaturasi merupakan proses pembukaan ikatan rantai ganda DNA sehingga menjadi ikatan tunggal DNA dan reaksi enzimatik berhenti. Denaturasi dilakukan pada suhu 95°-95°C. pelekatan (*annealing*) merupakan proses pelekatan primer pada DNA cetakan. Proses tersebut memerlukan suhu yang berkisar pada *melting temperature* (T_m). Suhu *annealing* yang ideal yaitu 52°-65°C. Ekstensi merupakan proses pemanjangan oligonucleotide primer. Proses tersebut dikatalisasi enzim DNA polymerase yang bersifat termostabil pada suhu sekitar 72°-78°C (Yusuf, 2010).

Pengembangan primer yang berorientasi dinoflagellata yang dilakukan oleh (Lin et al, 2010) dimana berdasarkan database besar gen rRNA subunit kecil (18S) nuklir, kami merancang primer PCR yang menargetkan dinoflagellata. Sebanyak 140 sekuens gen 18S rRNA, termasuk sekuens dari dinoflagellata, diatom, klorofit, haptofit, kriptofit, dan ganggang lainnya, diperoleh dari GenBank dan disejajarkan menggunakan ClustalW1.8; 11 spesies dinoflagellata diurutkan dalam penelitian ini (aksesi GenBank no. DQ388456 hingga DQ388466).

Daerah yang unik untuk dinoflagellata digunakan untuk merancang tiga primer PCR forward dan reverse, yang dipasangkan dengan primer universal gen 18S rRNA eukariotik yang dijelaskan sebelumnya untuk amplifikasi DNA. Primer diuji dengan 33 genera dinoflagellata yang dikultur (35 spesies, termasuk *Marina Oxyrrhis*), serta

sembilan taksa lainnya. Kultur alga ditumbuhkan dalam media f/2 (salinitas 28‰ atau 15‰), sel dipanen, dan DNA dimurnikan seperti yang dijelaskan sebelumnya (23). Secara singkat, setelah lisis sel dalam 1 ml buffer DNA (100 mM EDTA [pH 8.0], 0,5% sodium dodecyl sulfate, 200 -g ml⁻¹proteinase K), DNA dimurnikan menggunakan kolom DNA Clean and Concentrator (Zymo Penelitian, Oranye, CA). Dengan sampel DNA ini sebagai cetakan, PCR dilakukan menggunakan lima kombinasi primer, sebagai berikut: primer 18ScomF1 dan Dino18SR1 (ukuran produk yang diharapkan, 0,65 kb), primer 18ScomF1 dan Dino18SR2 (0,92 kb), primer Dino18F1 dan 18Scom R1 (1,60 kb), primer Dino18F2 dan 18Scom R1 (0,92 kb), dan primer Dino18F3 dan 18S com R1 (0,90 kb). Semua set primer kecuali set Dino18SF2-18ScomR1 menunjukkan spesifisitas untuk gen dinoflagellata 18S rRNA, yang memungkinkan amplifikasi dari sebagian besar taksa yang diperiksa. Dari empat pasang primer spesifik dinoflagellata, 18ScomF1-Dino18SR1 dan Dino18F1-18ScomR1 menunjukkan sensitivitas superior dan mampu mendeteksi 1 sampai 10 sel/campuran reaksi untuk sebagian besar dinoflagellata yang diuji (Lin et al, 2010).

D. Hipotesis

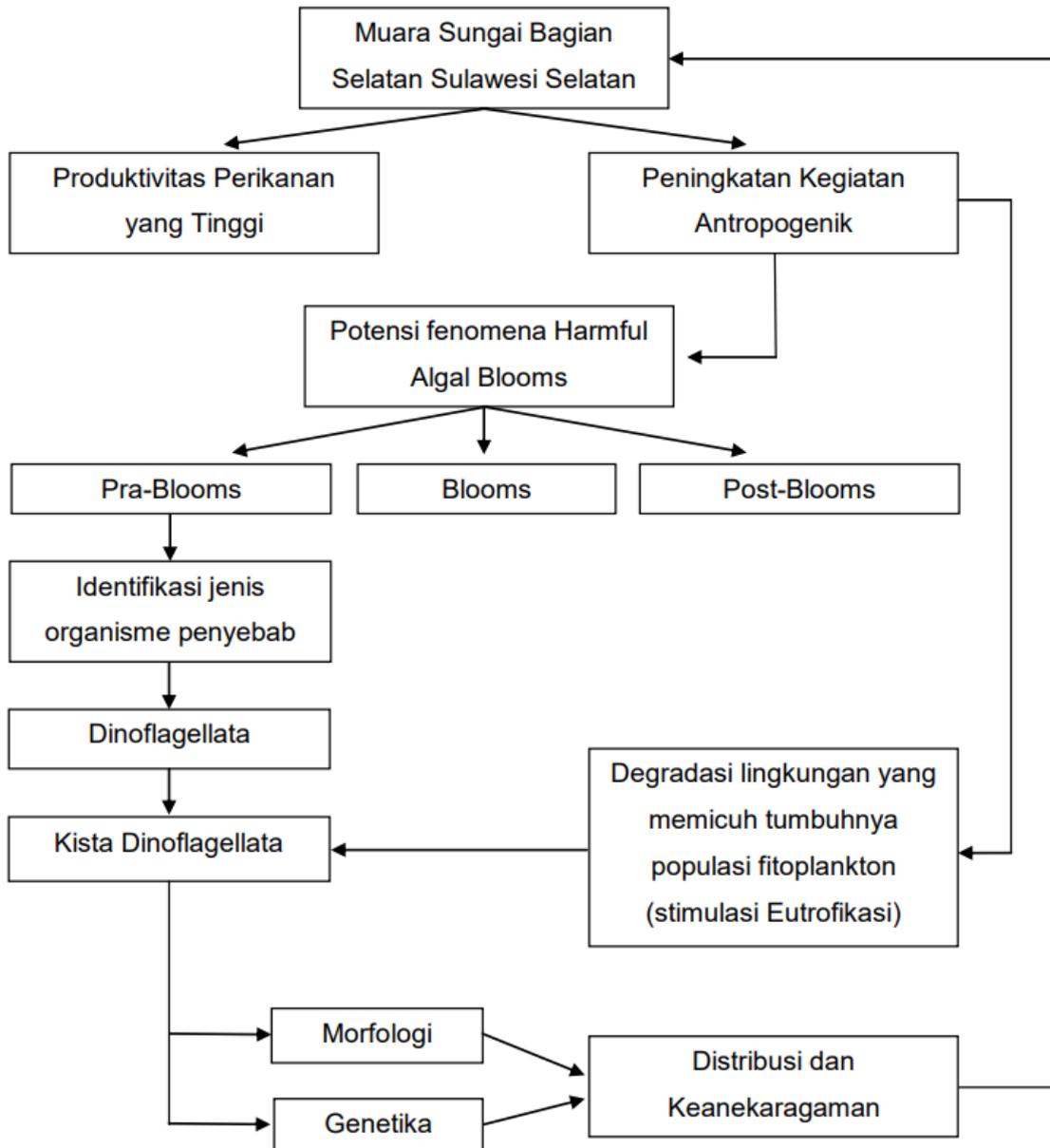
1. Jenis kista dinoflagellata berdasarkan morfologi dan genetika pada muara sungai bagian selatan Perairan Sulawesi Selatan (Muara Sungai Pappa Takalar, Muara Sungai Kelara Jeneponto, dan Muara Sungai Calendu Bantaeng) berbeda secara signifikan.
2. Distribusi kista dinoflagellata berdasarkan morfologi pada muara sungai bagian selatan Perairan Sulawesi Selatan (Muara Sungai Pappa Takalar, Muara Sungai Kelara Jeneponto, dan Muara Sungai Calendu Bantaeng) berbeda secara signifikan.
3. Keanekaragaman kista dinoflagellata berdasarkan morfologi pada muara sungai bagian selatan Perairan Sulawesi Selatan (Muara Sungai Pappa Takalar, Muara Sungai Kelara Jeneponto, dan Muara Sungai Calendu Bantaeng) berbeda secara signifikan.

E. Kerangka Pikir

Muara Sungai merupakan tempat pertemuan antara air sungai dan air laut yang kemudian biasa disebut perairan payau. Muara sungai merupakan habitat yang paling disukai oleh berbagai organisme laut sehingga muara sungai memiliki nilai produktivitas perikanan yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan oleh masyarakat pesisir khususnya nelayan (Munadi, 2013). Peningkatan kegiatan antropogenik masyarakat pesisir yang kurang sadar akan pentingnya kondisi lingkungan

mengakibatkan muara sungai menjadi tempat akhir pembuangan limbah organik maupun anorganik seperti limbah rumah tangga, limbah rumah sakit, limbah pertanian, maupun limbah budidaya perikanan. Muara Sungai Pappa, Muara Sungai Kelara, dan Muara Sungai Calendu merupakan tiga muara sungai besar yang berada di bagian selatan Sulawesi Selatan yang memiliki permasalahan yang sama. Peningkatan aktivitas antropogenik dapat mengakibatkan kondisi lingkungan yang kurang bagus sehingga dapat menimbulkan potensi terjadinya fenomena Harmful Algal Blooms (HABs).

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) menyatakan bahwa fenomena HABs dalam suatu kawasan perairan dapat diidentifikasi secara bertahap yaitu tahapan Pra-blooms, Blooms, dan Post-Blooms. Pra-Blooms merupakan tahap awal identifikasi fenomena HABs yaitu dengan cara melakukan identifikasi jenis organisme penyebab HABs. Dinoflagellata merupakan salah satu jenis fitoplankton yang menjadi penyebab utama terjadinya HABs dimana pada kondisi lingkungan yang kurang baik mengalami masa dormansi dalam bentuk kista dinoflagellata istirahat yang sewaktu-waktu dapat menjadi bom waktu yang akan menimbulkan fenomena HABs dalam suatu perairan. Sedikitnya data penelitian tentang kista dinoflagellata mengakibatkan kurangnya informasi tentang potensi HABs di Indonesia. Sulawesi Selatan khususnya Muara Sungai Bagian Selatan merupakan salah satu Perairan di Indonesia yang belum memiliki informasi tentang kista dinoflagellata. Oleh karena itu Penelitian tentang distribusi dan keanekaragaman kista dinoflagellata baik secara morfologi dan genetik menjadi langkah awal identifikasi adanya potensi fenomena HABs di Sulawesi Selatan khususnya Muara Sungai Bagian Selatan Sulawesi Selatan. Kerangka pikir yang telah di gambarkan secara singkat dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema Kerangka Pikir