



**JENIS DAN KELIMPAHAN BULU BABI (*Diadematidae*):  
CORAL BIOERODER PADA KONDISI TEKANAN  
LINGKUNGAN YANG BERBEDA**

**TESIS**

**UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN  
MEMPEROLEH GELAR MAGISTER**

**OLEH:**

**PRATAMA DIFFI SAMUEL**

**NIM: 146150100011002**

**PROGRAM MAGISTER PENGELOLAAN  
SUMBERDAYA LINGKUNGAN DAN PEMBANGUNAN**

**PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2016**



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bulu babi ialah invertebrata laut yang tergolong dalam filum Echinodermata yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pangan bergizi (Darsono *et al.*, 1993; Nontji, 2002), bermanfaat secara ekologi (Lawrence, 1975; Lang *et al.*, 1976), dan memiliki nilai ekonomis penting. Organisme ini sangat populer dikalangan para ahli untuk mempelajari biologi reproduksi, embriologi, toksikologi, regulasi gen dan biologi evolusi (Hamid, 2007).

Bulu babi sering kali dijumpai hidup secara berkelompok di sepanjang perairan pantai. Organisme dalam kelas Echinoidea ini memiliki variasi spesies yang cukup besar dan melimpah, serta menjadi penentu kelimpahan dan sebaran tumbuhan laut di perairan laut dangkal (Lawrence, 1975). Terdapat sekitar 950 spesies bulu babi di dunia, dan 316 spesies diantaranya ada di perairan Indo-Malaya (Perairan Indonesia, Malaysia, Filipina, sebagian wilayah Australia Utara). Di perairan Indonesia diketahui sekitar 84 jenis yang tersusun dari 31 famili dan 48 genus (Aziz, 1987).

Keragaman genetik bulu babi sangat tinggi. Hal ini dilihat dari *Deoxyribo Nucleic Acid* mitokondria (mtDNA) dan atau DNA inti (nDNA) antar famili atau spesies bulu babi. Berdasarkan keragaman tersebut diketahui tidak ada dua organisme dari spesies sama yang benar-benar serupa, karena setiap spesies memiliki materi genetiknya sendiri-sendiri (Abdul, 2007).

Pada ekosistem terumbu karang, kelompok biota ini dapat ditemukan pada berbagai habitat seperti zona rata-rata terumbu, daerah pertumbuhan alga, padang lamun, koloni karang hidup maupun koloni karang mati seperti patahan karang dan batu (Thamrin *et al.*, 2011). Bulu babi memiliki pengaruh biologi dan ekologi



yang penting pada komunitas terumbu karang. Agregasi yang padat dari bulu babi bertanggung jawab atas hancurnya komunitas ganggang laut dan rusaknya komunitas lamun di beberapa daerah pantai di daerah tropis dan subtropis (Ruddy, 2010). Selama aktivitas makan, beberapa jenis bulu babi menggerus kalsium karbonat dalam proporsi yang besar di samping alga yang tumbuh menempel pada karang, sehingga memiliki peran penting dalam siklus karbon organik dan anorganik di ekosistem terumbu karang (Noar, 2013).

Jenis bulu babi seperti pada marga *Diadema* dan *Strongylocentrotus* memiliki pengaruh negatif terhadap komunitas alga dan lamun (Aziz, 1987). Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Teluk Mukkaru Washington, Paine dan Vadas (1969), dilaporkan bahwa apabila semua bulu babi disingkirkan pada luas area tertentu, akan terlihat alga dari marga *Hedophyllum* menjadi dominan. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Scheibling (1984), bahwa meningkatnya populasi bulu babi *Strongylocentrotus droebachiensis* telah mengakibatkan rusaknya padang kelp (kelp beds) di Nova Scotia. Data analisis menunjukkan korelasi positif yang kuat antara kepadatan bulu babi dan habitat yang berisi alga dan kombinasi antara batu dan alga (Langdon, 2013).

Kontaminasi bahan polusi akan segera mengubah gambaran kehidupan di dalam air, sebab polusi bahan organik seperti limbah rumah tangga dapat menghasilkan suatu jumlah kelimpahan ganggang air (alga) dan gulma air (aquatic plants) yang mengganggu keseimbangan kehidupan di dalam air.

Konsep ini dikaitkan dengan keberadaan makroinvertebrata (bulu babi) yang memiliki korelasi sangat erat dengan keberadaan alga di perairan. Makroinvertebrata (bulu babi) dapat digunakan sebagai sistem peringatan dini dari suatu lingkungan yang terkena polusi. Menurut Tjokrokusumo (2006),



organisme air ini telah banyak digunakan oleh para ahli untuk melakukan biomonitoring kualitas perairan.

Schoettger (1996) menjelaskan bahwa respons yang timbul pada tingkatan seluler memang diperlukan untuk memastikan keberadaan logam berat di lingkungan. Dijelaskan oleh Rumahlatu (2012), meskipun bulu babi pada umumnya merupakan organisme perairan yang digunakan dalam banyak penelitian, tetapi penelitian tentang aktivitas makan akibat paparan logam berat belum banyak dikaji. Kajian lebih banyak difokuskan pada penelitian perilaku *covering* bulu babi (Aziz, 1994; Fierce *et al.*, 2004; Dumont *et al.*, 2007; Nichols, 2009), pertumbuhan dan reproduksi bulu babi (*Triploneustes gratilla*) yang diberi pakan lamun di laboratorium (Radjab *et al.*, 2010), pertumbuhan populasi bulu babi (*Echinometra mathaei*) di alam (Moningkey, 2010) serta perilaku berpindah dan istirahat (Rumahlatu, 2012).

Hubungan tingkat kelimpahan Echinodermata dengan habitat terumbu karang yang mengalami pencemaran maupun terumbu karang yang terserang penyakit belum diketahui secara jelas. Penelitian yang dilakukan oleh para pakar menunjukkan bahwa bulu babi bisa dijadikan sebagai indikator lingkungan perairan yang tercemar. Menurut Supono dan Arbi (2012), hubungan antara kelimpahan bulu babi dengan ekosistem terumbu karang yang kurang sehat memerlukan kajian lebih lanjut untuk menentukan korelasinya. Menurut Nystrom *et al.*, (2000) bulu babi ialah salah satu spesies kunci bagi komunitas terumbu karang. Hal ini karena bulu babi ialah salah satu pengendali populasi mikroalga. Keberadaan bulu babi pada suatu ekosistem tidak lepas juga dari pengaruh faktor fisika kimia pada lingkungan perairan tersebut (Anwar, 2015).



*Diadema setosum* dan *Paracentrotus lividus* telah digunakan sebagai bioindikator untuk mengevaluasi kontaminasi logam berat pada terumbu karang di Indo-Pasific dan Mediterania. *Diadema setosum* banyak digunakan sebagai spesies bioindikator pencemaran lingkungan perairan dan dapat digunakan sebagai spesies biomonitoring logam berat. Jenis bulu babi dari kelas Diadematae ini memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap paparan logam berat dan dikenal sebagai spesies indikator lingkungan laut tercemar (Rumahlatu *et al.*, 2014).

Monitoring kualitas lingkungan perairan dilakukan guna merumuskan dan mengevaluasi upaya-upaya serta aktifitas apa saja yang diperlukan untuk menjaga sumberdaya lingkungan yang ada. Pemerintah maupun stakeholder diharapkan berperan dalam proses pembangunan agar dapat mengontrol baik dampak positif yang harus ditingkatkan maupun dampak negatif yang harus dikendalikan.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diharapkan penelitian ini akan menjawab pertanyaan:

- 1) Bagaimana keanekaragaman jenis bulu babi di masing-masing lokasi penelitian
- 2) Apakah faktor lingkungan mempengaruhi kelimpahan jenis bulu babi
- 3) Sejauh apa bulu babi dapat digunakan sebagai bioindikator lingkungan perairan



### 1.3 Pentingnya Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah:

- (1) Mengidentifikasi jenis dan keanekaragaman bulu babi pada kondisi tekanan lingkungan perairan yang berbeda
- (2) Menganalisis pengaruh kondisi perairan terhadap kelimpahan bulu babi
- (3) Menganalisis peran bulu babi sebagai bioindikator lingkungan perairan

Manfaat penelitian ini ialah:

- (1) Penelitian ini bermanfaat sebagai sumber informasi dan gambaran kondisi umum perairan dengan menggunakan bulu babi sebagai indikator kualitas lingkungan perairan tersebut.
- (2) Menjadi bahan masukan dalam pengelolaan wilayah pesisir di Indonesia
- (3) Sebagai acuan dan masukan untuk perencanaan pengelolaan wilayah pesisir



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bulu Babi (Echinoidea)

#### 2.1.1 Morfologi dan Klasifikasi

Bulu babi ialah organisme primitif yang sederhana, yang memiliki organ tubuh tidak seperti pada hewan tingkat tinggi umumnya. Bulu babi tidak memiliki sistem pernafasan atau peredaran darah khusus (tidak memiliki jantung, pembuluh darah, tidak terdapat molekul yang mengikat oksigen dalam cairan tubuhnya) serta tidak memiliki organ ekskresi khusus. Secara umum sistem pencernaan bulu babi terdiri dari mulut, usus, gonad, dan sistem saraf primitif yang semuanya dibungkus oleh cangkang keras (test). Cangkang keras tersebut dipenuhi oleh duri dan kaki tabung yang disebut podia. Meskipun dengan desain tubuh yang sederhana, bulu babi memiliki masa hidup yang relatif lama (dapat hidup sampai beberapa tahun) dengan sedikit atau bahkan tanpa makanan. Bulu babi memiliki kemampuan untuk menurunkan tingkat metabolisme dan fungsi biologi (seperti reproduksi) sesuai dengan kondisi lingkungan dan ketersediaan makanan (Satyawan *et al.*, 2013).

Tubuh bulu babi berbentuk bulat atau pipih bundar, tidak bertangan, mempunyai duri-duri panjang yang dapat digerakkan. Semua organ pada bulu babi umumnya terletak di dalam tempurung (*test skeleton*) yang terdiri atas 10 keping pelat ganda, biasanya bersambungan dengan erat, yaitu pelat ambulakra, disamping itu terdapat pelat ambulakra yang berlubang-lubang tempat keluarnya kaki tabung (Suwignyo *et al.*, 2005). Pada permukaan tempurung terdapat tonjolan-tonjolan pendek yang membulat, berfungsi untuk menempelnya duri-duri. Di antara duri-duri tersebar pedicellaria dengan tiga gigi. Kebanyakan bulu babi mempunyai dua macam duri, duri panjang atau utama dan duri pendek atau



sekunder. Selanjutnya, mulut bulu babi terletak di daerah oral, dilengkapi dengan lima gigi tajam dan kuat untuk mengunyah yang dikenal sebagai aristotle's lantern. Anus, lubang genital dan madreporit terletak di sisi aboral (Dobo, 2009).

Klasifikasi bulu babi menurut Heinke dan Schultz (2006) ialah:

Filum: **Echinodermata**

Subfilum: Echinozoa

Kelas: **Echinoidea**

Ordo: Cidaroida

Famili: Cidaridae, Psychocidaridae, Histocidaridae

Ordo: Echinothuroida

Famili: Echinothuridae

Ordo: **Diadematoida**

Famili: **Diadematidae**, Micropygidae

Ordo: Phymosomatoida

Famili: Glyptocidariidae, Stomopneustidae

Ordo: Arbacioida

Famili: Arbaciidae

Ordo: Temnopleuroida

Famili: Temnopleuridae

Ordo: Echinoida

Famili: Echinidae, Parechinidae, Echinometridae,

Strongylocentrotidae, Toxopneustidae

Ordo: Clypeasteroida

Famili: Clypeasteridae, Arachnoididae, Laganiidae, Rotulidae,

Echinarachniidae, Dendrasteridae, Mellitidae



Ordo: Spatangoida

Famili: Spatangidae, Mycrasteridae, Brissidae, Loveniidae,

Schizasteridae, Pericosmidae, Asterostomatidae

Ordo: Holoctypoida

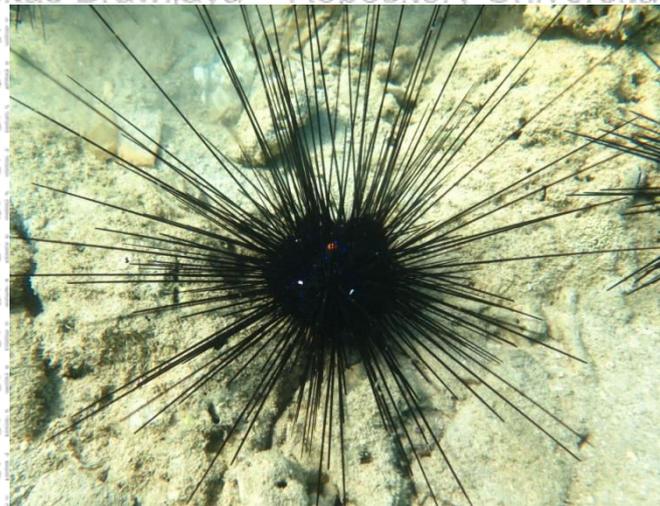
Famili: Echinoneidae

Ordo: Cassiduloida

Famili: Cassidulidae, Apatopygidae, Echinolampadidae

Ordo: Holasteroida

Famili: Stereoneustidae, Urechinidae, Pourtalesiidae



Gambar 2.1 **Bulu babi (sea urchin)**

### 2.1.2 Habitat, Distribusi dan Tingkah Laku Bulu Babi

Bulu babi hidup pada ekosistem terumbu karang dan ekosistem lamun. Di ekosistem terumbu karang bulu babi tersebar di zona pertumbuhan alga dan zona lamun. Bulu babi ini dapat ditemui mulai dari daerah intertidal sampai pada kedalaman 10 m (Aziz, 1993), bahkan ditemukan juga bulu babi hingga kedalaman 5000 m (Suwignyo *et al.*, 2005).



Bulu babi sebagai salah satu biota penghuni padang lamun, kerap kali ditemukan di daerah padang lamun campuran. Kondisi ini terutama disebabkan karena bulu babi tergantung kepada berbagai jenis lamun dari marga *Thalassia*, *Syringodium*, *Thalassodendron*, dan *Cymodocea*. Selain itu bulu babi juga lebih menyukai substrat yang agak keras, yaitu substrat padang lamun campuran terutama terdiri dari campuran pasir dan pecahan karang. Bulu babi yang menempati padang lamun dapat hidup mengelompok seperti *Diadema setosum*, *D. Antillarum*, *Tripneustes gratilla*, *T. ventricosus*, *Lytechinus variegatus*, *Temnopleurus toreumaticus* dan *Strongilocentrotus* spp. maupun yang cenderung hidup menyendiri seperti *Mespilia globulus*, *Toxopneustes pileolus*, *Pseudoboletia maculata* dan *Echinotrix diadema* (Aziz, 1994).

Penyebaran lokal bulu babi sangat tergantung pada faktor habitat dan makanan yang terdapat di sekeliling biota tersebut (De Beer, 1990). Pada umumnya masing-masing jenis memiliki habitat yang spesifik, seperti *Tripneustes gratilla* sering ditemukan di daerah berpasir atau pasir lumpur yang banyak ditumbuhi lamun dengan kedalaman antara 0,5 m sampai dengan 20 m (Radjab, 2004). *Mellita quinquisperforata* merupakan salah satu komponen penting di komunitas pantai berpasir (Tavares dan Borzone, 2006). Hingga kini, tercatat kurang lebih 151 jenis fauna Echinoidea yang terdiri dari 93 genus dan 34 famili dijumpai di perairan Laut Banda dan sekitarnya (Aziz, 1999).

Kelompok bulu babi regularia baik yang menyendiri ataupun mengelompok, hidup bebas mencari makan secara aktif, berpindah dari satu rumpun ke rumpun alga lainnya (Aziz, 1987). Aktifitas makan ini terutama dilakukan pada malam hari. Sementara itu, kelompok bulu babi iregularia baik sand dollar, heart urchin ataupun sea biscuit hidup dengan makan sisa-sisa organik yang terkandung



dalam lumpur (*deposit feeders*). Hewan ini hidup membenamkan diri dalam lumpur atau pasir halus dan secara pasif mengumpulkan jasad-jasad renik dan sisa organik yang tertangkap oleh duri-durinya terutama pada sisi aboral, atau memperoleh makanan dengan cara menelan pasir yang ada pada medium disekitarnya.

Secara umum bulu babi ditemukan di daerah intertidal yang relatif dangkal dan jumlahnya akan semakin menurun apabila kedalaman perairan tersebut meningkat. Hal ini dikarenakan pada perairan yang lebih dalam, bahan-bahan organik yang terkandung didalamnya kurang melimpah (Anwar, 2015). Makanan bulu babi ialah alga, lamun, dan hidupnya mengelompok untuk dapat saling melindungi terhadap ancaman musuh (Rumahlatu, 2007). Secara alami, bulu babi (*Diadema setosum*) melakukan mekanisme pertahanan akibat stressor lingkungan. Mekanisme pertahanan tersebut merupakan respon terhadap lingkungan berupa perilaku *covering*/menutup diri dengan materi di sekitar habitatnya (preferensi dan *grazing*) dan perilaku harian (perilaku berpindah, makan, dan istirahat/*resting*) (Aziz, 1994).

## 2.2 Ekosistem Terumbu Karang

Terumbu karang ialah ekosistem dasar perairan laut tropis yang memiliki keanekaragaman dan produktivitas perairan tinggi. Terumbu karang ialah endapan-endapan masif dari kalsium karbonat yang dihasilkan oleh karang Scleractinia dengan sedikit tambahan alga berkapur dan organisme-organisme lain yang mengeluarkan kalsium karbonat. Karang Scleractinia termasuk ke dalam filum Cnidaria. Karang ini menerima sumber energi dan nutrisi dengan cara menangkap larva planktonik dengan menggunakan tentakelnya atau



dengan memanfaatkan simbiosis yang hidup di dalam jaringan tubuhnya yaitu *zooxantellae* (Nybakken, 1992).

Terumbu karang ialah struktur di dasar laut berupa deposit kalsium karbonat yang dihasilkan terutama oleh hewan karang. Satu individu karang atau disebut polip karang memiliki ukuran yang bervariasi mulai dari yang sangat kecil 1 mm hingga yang sangat besar yaitu lebih dari 50 cm. Terumbu karang dapat berfungsi sebagai pelindung (*shelter*) untuk berbagai fauna yang hidup di dalam kompleks habitat terumbu karang seperti sponge (*sponges*), akar bahar, kima, berbagai ikan hias, ikan kerapu (*grouper*), *anemone*, teripang, bintang laut, lobster (*crustacea*), penyu laut, ular laut, siput laut, moluska dan lain-lain (Timotius, 2008).

### 2.3 Parameter Lingkungan Hidup Bulu Babi

Indikator biologis merupakan penampakan utuh dari sifat makhluk hidup yang bereaksi (respon) secara langsung dan relatif cepat terhadap adanya perubahan kualitas, kuantitas dan kondisi ekosistem atau sistem lingkungan. Kelimpahan bulu babi di perairan dipengaruhi oleh faktor lingkungan, kondisi internal biota dan aktifitas perikanan. Faktor lingkungan dalam hal ini ialah faktor fisika, kimia dan biologi. Kondisi fisika dan kimia perairan yang diperlukan oleh bulu babi untuk dapat tumbuh secara optimal, selain itu faktor biologi yang terkait dengan keberadaan lamun atau alga sebagai sumber makanan memegang peranan penting dalam menunjang kehidupannya. Bulu babi juga lebih menyukai perairan yang jernih dan relatif tenang (Radjab, 2004).

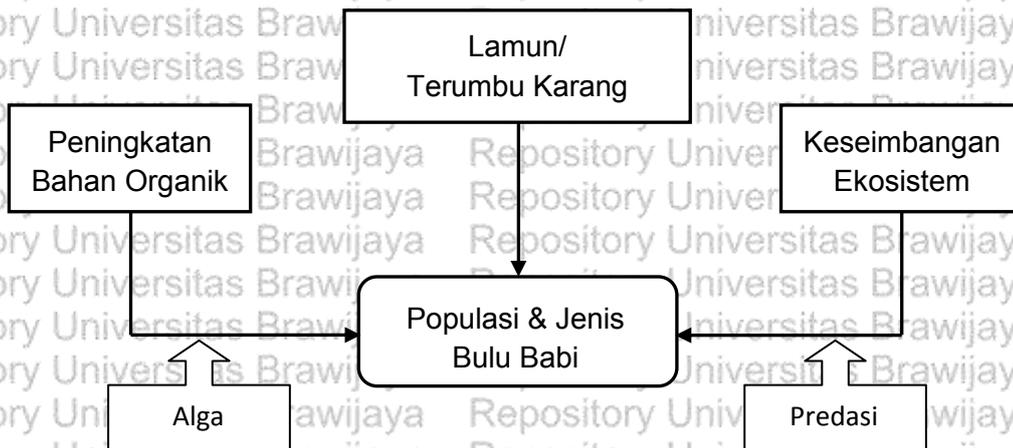
### III. KERANGKA KONSEP PENELITIAN

#### 3.1. Landasan Teori

Bulu babi ialah organisme yang hidup di padang lamun dan disekitar ekosistem terumbu karang. Bulu babi berperan sebagai konsumen tingkat pertama dalam rantai makanan. Dalam kondisi lingkungan yang stabil atau ketika keseimbangan lingkungan dalam kondisi yang baik, jumlah dan keanekaragaman jenis bulu di pengaruhi oleh adanya predasi. Di sisi lain, berbagai jenis alga berperan sebagai produsen, yang mana keberadaannya sangat dipengaruhi oleh kandungan bahan organik di perairan. Ketika bahan organik tersedia dalam jumlah yang besar, maka pertumbuhan alga akan meningkat. Hal ini dapat diikuti oleh meningkatnya kelimpahan bulu babi di perairan tersebut.

Berdasarkan uraian pada latar belakang, tinjauan pustaka serta landasan teori yang ada, maka dapat digambarkan kerangka konsep penelitian ini sebagai

Gambar 3.1 berikut:



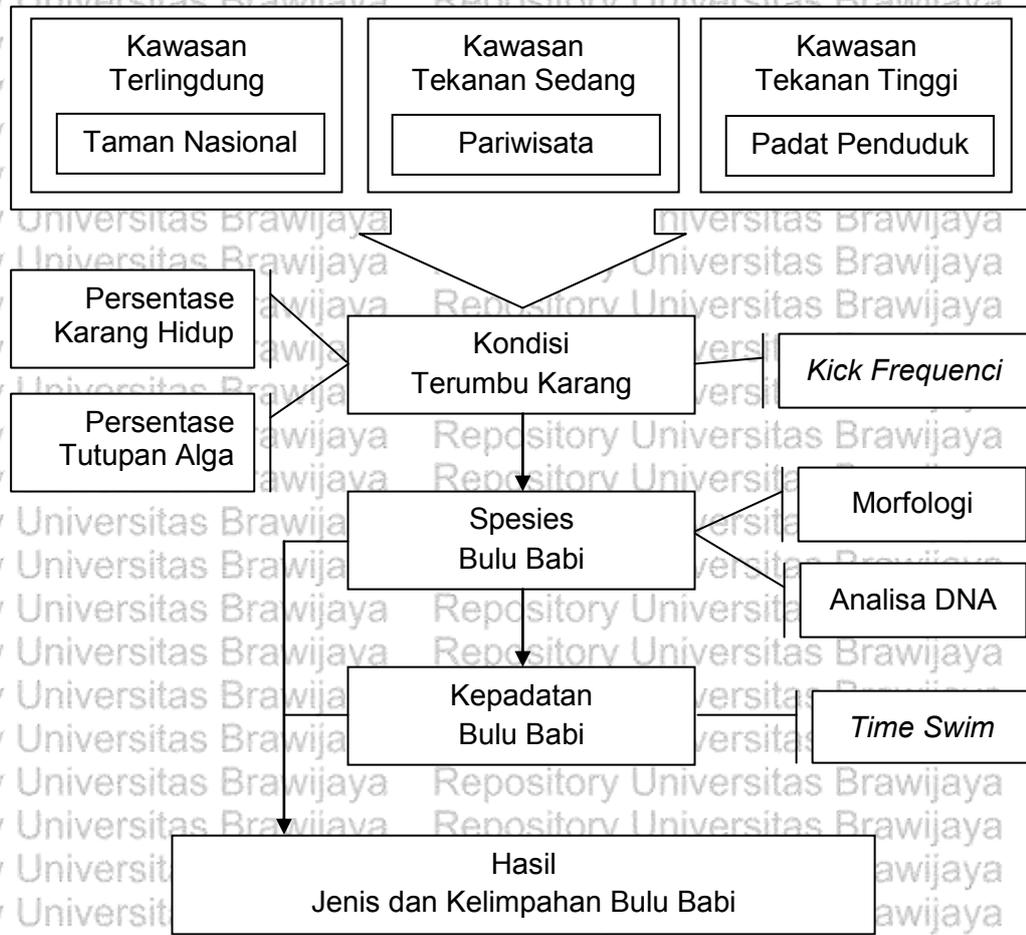
Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian

### 3.2 Kerangka Operasional Penelitian

Penelitian tentang jenis dan kelimpahan bulu babi diawali dengan studi pendahuluan. Studi pendahuluan yang dilakukan ialah studi literatur tentang kondisi lingkungan untuk menentukan lokasi pengambilan data. Pemilihan lokasi didasarkan pada pertimbangan sejauh mana tekanan terhadap lingkungan perairan (ekosistem terumbu karang) di masing-masing lokasi pengambilan data. Kemudian setelah memperoleh data kondisi lingkungan dilanjutkan dengan studi area melalui observasi langsung dengan melakukan penilaian kondisi atau status terumbu karang. Penilaian terhadap kondisi atau status terumbu karang dilakukan dengan melihat persentase tutupan karang hidup dan jumlah tutupan alga di masing-masing lokasi pengambilan data.

Setelah mendapatkan gambaran yang mendalam tentang kondisi lingkungan, langkah berikutnya ialah mengambil data utama yaitu jenis dan kelimpahan bulu babi di masing-masing lokasi penelitian. Jenis atau keanekaragaman spesies bulu babi dinilai dengan dua cara, yaitu yang pertama dengan pendekatan morfologi dan kedua dengan pendekatan genetik atau dengan cara analisa DNA. Kelimpahan atau kepadatan bulu babi dilakukan dengan pengamatan langsung di lapang sekaligus juga dengan mengambil sampel DNA dari tiap spesies yang ditemui. Gambaran umum mengenai kerangka operasional penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.





Gambar 3.2 Kerangka Operasional Penelitian

### 3.3 Definisi Operasional

Istilah yang digunakan dalam penelitian ini yang bersifat konseptual dan memiliki cakupan luas sehingga memudahkan pengertian dari permasalahan yang dimaksud, maka penulis perlu memberikan definisi operasional sebagai berikut:

- 1) Daerah kajian dalam penelitian ini ialah kawasan pesisir dengan karakteristik yang berbeda, yaitu: kawasan terlindung, kawasan pariwisata dan kawasan pemukiman/padat penduduk
- 2) Pencemaran Pesisir ialah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan pesisir akibat adanya

kegiatan Orang sehingga kualitas pesisir turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan pesisir tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (UU. No 27 tahun 2007, tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil)

- 3) Kawasan ialah bagian Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil yang memiliki fungsi tertentu yang ditetapkan berdasarkan kriteria karakteristik fisik, biologi, sosial, dan ekonomi untuk dipertahankan keberadaannya.
- 4) Ekosistem ialah kesatuan komunitas tumbuh-tumbuhan, hewan, organisme dan non organisme lain serta proses yang menghubungkannya dalam membentuk keseimbangan, stabilitas, dan produktivitas.
- 5) Bioerosi ialah pengikisan (erosi) kalsium karbonat pada substrat dasar laut atau terumbu karang oleh *bioeroder* (moluska atau organisme lain) dengan sejumlah mekanisme.
- 6) Limbah rumah tangga adalah limbah yang berasal dari dapur, kamar mandi, cucian, limbah bekas industri rumah tangga dan kotoran manusia.
- 7) Genetika adalah ilmu yang berhubungan dengan studi dan pemahaman tentang faktor keturunan, evolusi, perkembangan, ekologi, biologi molekuler dan ilmu forensik. Seorang ilmuwan Jerman dengan nama Gregor Johann Mendel adalah pendiri pertama Genetika, maka ia juga dikenal sebagai bapak genetika.



#### IV. BAHAN DAN METODE

##### 4.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Februari 2016 hingga Juni 2016 di enam lokasi pengambilan data, yaitu:

- (1) Pulau Pari, Taman Nasional Kepulauan Seribu
- (2) Pulau Menjangan, Taman Nasional Bali Barat
- (3) Pantai Pasir Putih, Kabupaten Situbondo
- (4) Pantai Sendang Biru, Kabupaten Malang
- (5) Pulau Gili Ketapang, Kabupaten Probolinggo
- (6) Pulau Mandangin, Kabupaten Sampang

Penelitian ini juga akan dilakukan di laboratorium untuk menganalisis data identifikasi bulu babi. Laboratorium yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laboratorium Genetika, Fakultas Biologi, Universitas Gajah Mada. Jadwal penelitian tertuang pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Waktu Pelaksanaan						
		Feb	Mar	Aprl	Mei	Jun	Jul	Agt
1	Persiapan dan seminar proposal							
2	Persiapan alat dan bahan							
3	Pengumpulan data							
4	Kompilasi data							
5	Analisis data							
6	Seminar hasil penelitian							
7	Penulisan jurnal							
8	Ujian kelayakan							
9	Ujian tesis							



#### 4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan mengambil lokasi dengan kriteria tekanan terhadap ekosistem terumbu karang yang berbeda. Tiga kriteria lokasi dalam penelitian ini, yaitu: (1) kawasan terlindung (tekanan rendah atau tidak ada), (2) kawasan dengan tekanan lingkungan sedang dan (3) kawasan dengan tekanan lingkungan tinggi. Masing-masing kriteria lokasi tersebut diwakili oleh dua tempat.

Pemilihan kawasan berdasarkan kriteria lokasi penelitian dilakukan dengan studi literatur. Kawasan yang dipilih sesuai dengan kriteria pertama ialah Taman Nasional, dimana taman nasional yang dipilih dalam penelitian ini ialah Taman Nasional Kepulauan Seribu (DKI Jakarta) dan Taman Nasional Bali Barat (Bali). Kawasan dengan kriteria lokasi kedua dipilih tempat pariwisata, yaitu: kawasan wisata Pantai Pasir Putih Kabupaten Situbondo dan kawasan wisata Pantai Sendang Biru Kabupaten Malang. Kawasan pesisir dengan kepadatan penduduk yang tinggi, dipilih sebagai kawasan dengan kriteria lokasi ketiga, yaitu kawasan dengan tekanan lingkungan tinggi. Lokasi penelitian yang ketiga ini yaitu: Pulau Gili Ketapang di Kabupaten Probolinggo dan Pulau Mandangin di Kabupaten Sampang. Empat lokasi terakhir yang disebutkan berada di Propinsi Jawa Timur.

Kawasan Taman Nasional, kawasan pariwisata dan kawasan pemukiman/padat penduduk adalah tiga kriteria lokasi yang dipilih dengan asumsi bahwa di ketiga kriteria lokasi yang berbeda tersebut memiliki tekanan yang berbeda pula terhadap ekosistem terumbu karang yang ada di masing-masing lokasi. Kawasan Taman Nasional ialah kawasan yang terlindung dan tidak memiliki ancaman yang berarti bagi ekosistem terumbu karang yang ada.

Kawasan pariwisata ialah kawasan dengan potensi sumberdaya terumbu karang yang cukup baik dan menjadi destinasi wisata khususnya wisata air seperti

snorkling dan menyelam. Kawasan ini memiliki ancaman terhadap ekosistem terumbu karang berupa tekanan pariwisata. Kawasan pemukiman atau padat penduduk ialah kawasan pesisir dengan jumlah pemukiman yang padat dan memiliki pengaruh yang besar terhadap lingkungan sekitarnya. Tekanan atau ancaman terhadap ekosistem terumbu karang sangat besar berupa pencemaran limbah rumah tangga maupun eksploitasi terhadap sumberdaya yang ada.

#### 4.3 Alat dan Bahan

##### 4.3.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk pengambilan sampel bulu babi, alat untuk pengambilan data terumbu karang serta alat yang digunakan untuk mengidentifikasi bulu babi. Peralatan tersebut diuraikan dalam Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Peralatan Penelitian

No	Peralatan Utama	Kegunaan
1	Keranjang Plastik	: wadah mengumpulkan sampel bulu babi
2	Penjepit bambu/aluminium	: untuk mengambil sampel bulu babi di perairan
3	Gunting	: untuk memotong/membersihkan duri-duri bulu babi
4	<i>Sectio set.</i>	: untuk mengambil sampel DNA
5	Bunsen	: untuk mensterilisasi alat
6	Alat selam dasar: - Masker - Snorkle - fin	: untuk melakukan pengamatan serta mengambil data terumbu karang dan kelimpahan bulu babi
7	sabak dan alat tulis	: untuk mencatat data dalam pengambilan data di lapangan



Selain peralatan untuk menunjang kegiatan pengambilan data lapang, digunakan juga peralatan pendukung untuk menganalisa data di laboratorium, yaitu perangkat keras (*hardware*), berupa seperangkat komputer beserta kelengkapannya, serta perangkat lunak (*software*) yang terdiri dari aplikasi Mega 6, SSR Locator dan Unipro UGENE.

#### 4.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah bahan untuk mengambil data sampel DNA bulu babi. Bahan-bahan tersebut antara lain: alkohol 96%, *microtube* 1.5 ml, kertas tissue, parafilm.

#### 4.4 Metode Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan pendekatan analisis data keanekaragaman dan kelimpahan bulu babi sebagai indikator terhadap tekanan lingkungan terumbu karang. Pengambilan data lapang (*ground check*) dilakukan sebagai salah satu input data dalam menginterpretasi sejauh mana tekanan lingkungan berpengaruh terhadap keanekaragaman dan kelimpahan bulu babi.

Prosedur pengumpulan data dilakukan dalam tiga tahap, yaitu: penilaian status (*monitoring*) ekosistem terumbu karang, pengambilan sampel bulu babi dan analisa data. Dalam penelitian ini juga akan dilakukan pengambilan data kuantitatif berupa wawancara terhadap masyarakat di masing-masing lokasi pengambilan data untuk mengetahui bagaimana persepsi masyarakat tersebut terhadap kondisi lingkungan secara umum, serta untuk memperkuat data hasil penelitian secara kualitatif.



#### 4.5 Pengumpulan Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini ialah data primer dan sekunder.

Data primer diperoleh dengan observasi langsung di lapangan dan analisa di laboratorium. Data primer meliputi antara lain: jumlah dan jenis bulu babi serta persentase tutupan karang hidup pada ekosistem terumbu karang. Sedangkan data sekunder ialah data yang diambil dari sumber referensi terkait, seperti peta lokasi pengambilan sampel serta informasi atau kondisi umum daerah penelitian.

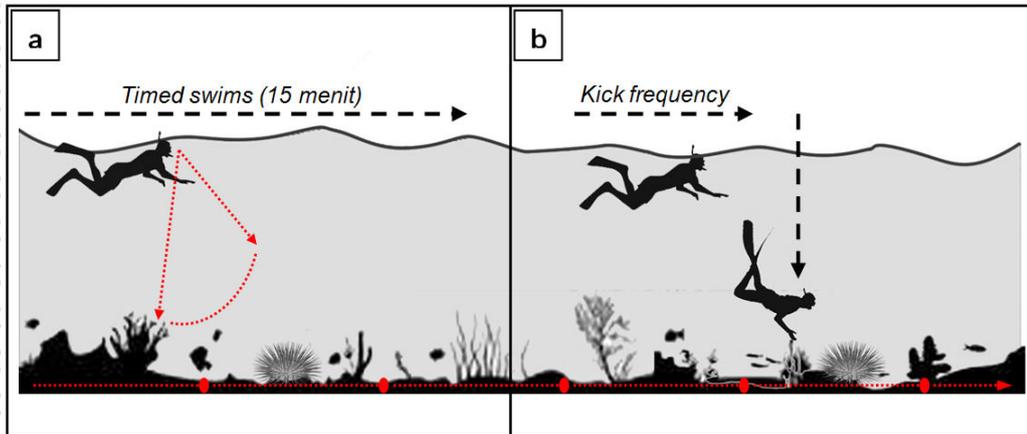
##### 4.5.1 Pengambilan Data Terumbu Karang

Pengambilan data terumbu karang dilakukan untuk mengetahui status kondisi terumbu karang di masing-masing lokasi penelitian. Status kondisi terumbu karang dilihat atau dinilai dari persentase tutupan karang hidup dan jumlah alga yang ada sebagai indikator masuknya bahan pencemar organik ke perairan. Data kondisi terumbu karang ini diambil menggunakan metode *Kick frequency* dengan berenang/snorkling di atas rataan terumbu karang. *Kick frequency* ialah modifikasi dari metode pengambilan data terumbu karang dengan cara PIT (Point Intercept Transect), dimana peneliti mencatat jenis (lifeform) terumbu karang setiap 3-4 kali kayuhan kaki. Bentuk pertumbuhan karang (*lifeform*) dalam penelitian ini antara lain: karang hidup, karang mati, bentuk substrat, alga dan substrat lainnya.

##### 4.5.2 Pengambilan Data Kelimpahan Bulu Babi

Pengambilan data kelimpahan bulu babi dilakukan dengan cara survey jelajah (*timed swims* atau snorkling) pada tiap lokasi penelitian. *Timed swims* atau snorkling dilakukan diatas rataan terumbu karang dan berenang sepanjang sejajar dengan garis pantai selama 15 menit, dengan kecepatan berenang

standar (lebih kurang 20 m per menit). Kemudian dicatat jumlah individu bulu babi yang ditemukan sepanjang jarak tersebut. Ilustrasi pengambilan data bulu babi seperti pada Gambar 4.1



**Gambar 4.1** (a) pengamatan dan pencatatan kelimpahan bulu babi; (b) pengambilan sampel individu bulu babi

#### 4.5.3 Pengambilan Data Keanekaragaman Bulu Babi

Pengambilan sampel bulu babi dilakukan secara langsung dengan cara survei jelajah dan koleksi bebas, dimana sampel yang diambil 10-15 individu untuk masing-masing jenis yang ditemukan di tiap lokasi penelitian. Individu-individu bulu babi tersebut kemudian di kumpulkan dan diambil sampel DNA-nya.

#### 4.5.4 Pengambilan Data Wawancara (Persepsi Masyarakat)

Pesepsi masyarakat terhadap bulu babi berhubungan dengan tingkat pengetahuan dan pemahaman masyarakat terhadap keberadaan bulu babi di ekosistem terumbu karang. Data hasil wawancara digunakan untuk memperkuat data lapang, baik data terumbu karang maupun bulu babi di masing-masing lokasi penelitian. Instrumen pedoman wawancara terlampir dalam Lampiran 1.

#### 4.6 Analisis Data

##### 4.6.1 Analisa Data Terumbu Karang

Analisa data terumbu karang dilakukan dengan menghitung persentase tutupan karang hidup di tiap lokasi penelitian. Tutupan karang hidup dalam penelitian ini dilihat dari bentuk/tipe pertumbuhan karang (*lifeform*). Dalam menghitung persentase tutupan terumbu karang hidup, menggunakan perhitungan sebagai berikut (English, *et al.* 1994):

$$\text{Persentase tutupan karang} = \frac{\text{Jumlah poin per lifeform}}{\text{Total jumlah poin sepanjang jalur pengamatan}} \times 100\%$$

Persentase tutupan karang hidup diperoleh dengan membagi jumlah poin per *lifeform* dengan total jumlah poin sepanjang jalur pengamatan dikalikan seratus persen.

##### 4.6.2 Analisa Data Kelimpahan Bulu Babi

Kelimpahan ialah jumlah individu dalam suatu luasan tertentu. Kelimpahan di hitung dengan rumus:

$$\text{Kelimpahan} = \frac{\text{Jumlah individu}}{\text{Luas area survei}}$$

Dalam penelitian ini luasan area sampling untuk masing-masing transek ialah 1500 m<sup>2</sup>. Luasan tersebut didapatkan dari jarak rata-rata perenang melakukan snorkling selama 15 menit mampu menempuh jarak sejauh 300 meter, dan kemampuan pengamatan di dalam air (jarak pandang ideal) sejauh 2,5 meter di kanan dan kiri jalur lintasan snorkling.



#### 4.6.3 Analisa Jenis Bulu Babi

Jenis atau keanekaragaman bulu babi dilihat melalui pendekatan genetik, yaitu dengan teknik analisa DNA. Analisa DNA dilakukan melalui tahap ekstraksi sampel, PCR, sequencing, BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*) dan phylogenetik analisis. Ekstraksi DNA ialah serangkaian proses pemisahan DNA dari komponen-komponen sel lainnya. PCR (*polymerase chain reaction*) ialah langkah menggandakan jumlah molekul DNA pada target tertentu dengan cara mensintesis molekul DNA baru yang berkomplemen dengan molekul DNA target melalui bantuan enzim dan oligonukleotida sebagai primer dalam suatu thermocycler. Sequencing ialah proses pembacaan urutan basa nukleotida yang menyusun genom. Selanjutnya, dilakukan penelusuran BLAST pada basis data sekuens untuk mencari sekuens asam nukleat maupun protein yang sama dengan sekuens yang telah dianalisis.

Dalam penelitian ini analisa DNA dilakukan pada wilayah COI. Gen cytochrome C Oxidase subunit I (COI) ialah protein coding pada DNA mitokondria yang telah banyak digunakan sebagai alat identifikasi spesies hewan. Pembacaan dengan menggunakan primer yang disusun dari sintesis oligonukleotida sepanjang 15-32bp dan harus mampu mengenali urutan basa yang akan diamplifikasi. Pada penelitian ini primer yang digunakan ialah (Chow, 2016): COI531F: 5'-ATGATTTCTCATGTAATTGC-3'; COI874R: 5'-AGTACAACGTCTATAGATGA-3'



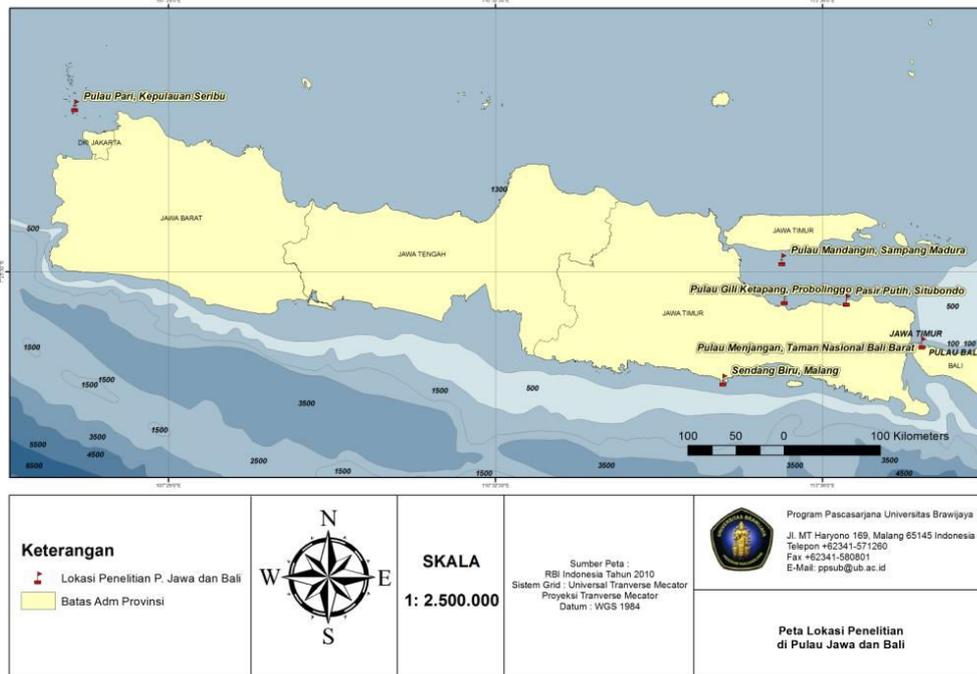
## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Keadaan Umum Lokasi

Penelitian dilakukan di tiga kriteria lokasi yang berbeda dengan masing-masing kriteria dipilih dua tempat. Kriteria lokasi adalah kawasan yang terlindung atau tekanan lingkungan rendah, kawasan dengan tekanan lingkungan sedang dan kawasan dengan tekanan lingkungan tinggi. Kawasan terlindung dalam penelitian ini dipilih Taman Nasional yaitu Taman Nasional Kepulauan Seribu dan Taman Nasional Bali Barat. Kawasan dengan tekanan sedang dipilih kawasan pariwisata yaitu Pantai Pasir Putih di Kabupaten Situbondo dan Pantai Sendang Biru di Kabupaten Malang. Sedangkan untuk kawasan dengan tekanan lingkungan tinggi dipilih kawasan yang memiliki jumlah dan kepadatan penduduk tinggi, yaitu Pulau Gili Ketapang di Kabupaten Probolinggo dan Pulau Mandangin di Kabupaten Sampang. Koordinat titik pengambilan sampel di masing-masing lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan peta lokasi penelitian secara menyeluruh pada Gambar 5.1.

**Tabel 5.1 Koordinat Titik Pengambilan Sampel**

LOKASI	KOORDINAT	
	S	E
Pulau Pari	5°51'33.77"	106°36'47.69"
	8° 5'45.10"	114°31'41.80"
Pulau Menjangan	7°41'30.28"	113°49'42.09"
	8°26'36.54"	112°40'30.61"
Pasir Putih	7°40'40.39"	113°14'45.85"
	7°18'34.80"	113°13'30.16"
Sendang Biru		
Pulau Gili		
Pulau Mandangin		



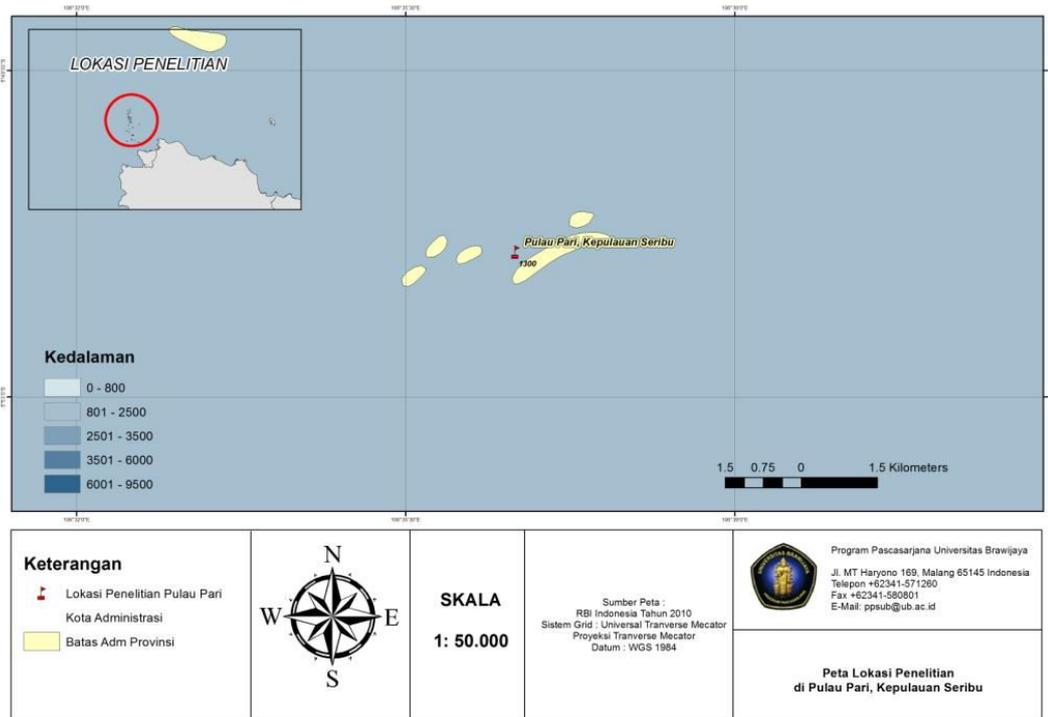
Gambar 5.1 Peta Letak Lokasi Penelitian

#### 1) Taman Nasional Kepulauan Seribu

Taman Nasional Kepulauan Seribu berada di wilayah Kabupaten Kepulauan Seribu Provinsi DKI Jakarta, dengan luas wilayah sebesar 107.489 ha (SK Menteri Kehutanan Nomor 6310/Kpts-II/2002). Taman Nasional Kepulauan Seribu tersusun oleh pulau-pulau kecil yang terdiri dari gugus kepulauan dengan 78 pulau sangat kecil, 86 gosong pulau dengan hamparan laut dangkal.

Penelitian ini dilakukan di salah satu dari gugus pulau yang ada di Kepulauan Seribu, yaitu Pulau Pari. Secara administratif Pulau Pari berada pada wilayah Kecamatan Kepulauan Seribu Selatan dengan luas wilayah sebesar 94,57 ha (0,95 km<sup>2</sup>). Jumlah penduduk di Pulau Pari (Kelurahan Pulau Pari) sebanyak 2.740 jiwa, dengan kepadatan 2.884 orang/km<sup>2</sup>. Dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir jumlah penduduk Kepulauan Seribu mengalami peningkatan sebesar 22 persen.

Taman Nasional Kepulauan Seribu saat ini menjadi salah satu destinasi wisata bahari, khususnya bagi wisatawan yang berasal dari DKI Jakarta dan sekitarnya. Perkembangan sektor pariwisata cukup pesat dengan jumlah kunjungan wisata mencapai 207.105 orang per tahun. Lokasi penelitian di Pulau Pari ditunjukkan pada Gambar 5.2.



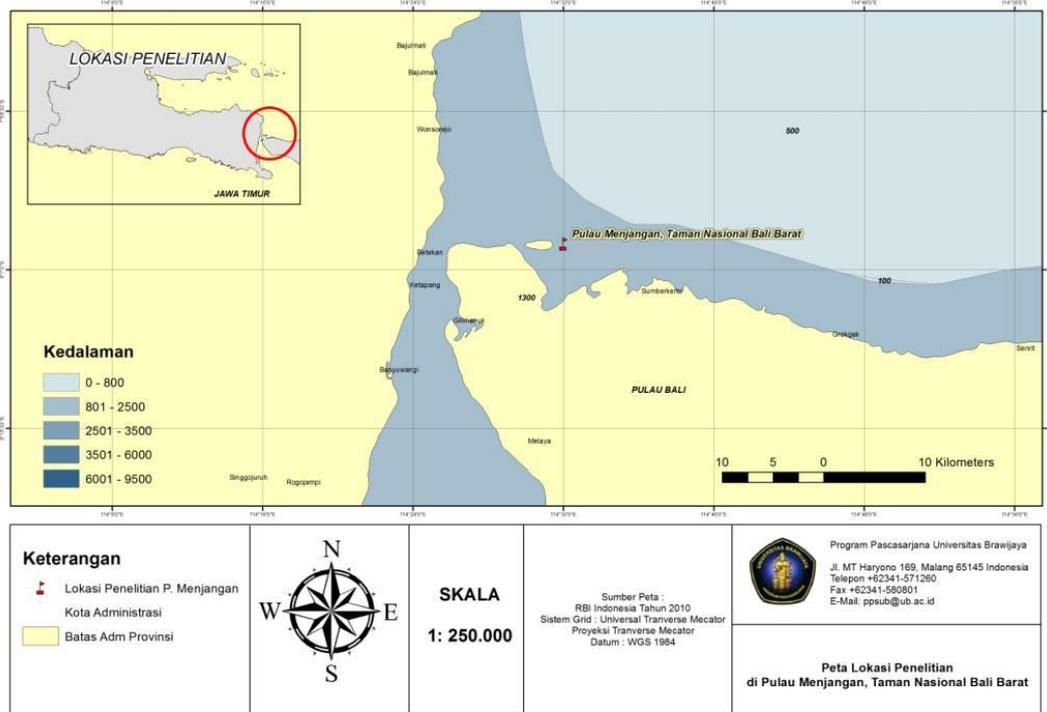
Gambar 5.2 Peta Lokasi Penelitian di Taman Nasional Kepulauan Seribu (Pulau Pari)

## 2) Taman Nasional Bali Barat

Taman Nasional Bali Barat terletak di dua wilayah administrasi, yaitu Kabupaten Jembrana dan Kabupaten Buleleng, Propinsi Bali. Wilayah Taman Nasional Bali Barat memiliki luas 19.002,89 ha, yang terdiri dari 15.587,89 ha daratan dan 3.415 ha berupa perairan. Terdapat empat pulau yang masuk dalam kawasan Taman Nasional Bali Barat, yaitu: Pulau Menjangan, Pulau Burung, Pulau Gadung dan Pulau Kalong. Taman Nasional Bali Barat terdiri dari

beberapa ekosistem yaitu hutan mangrove, hutan pantai, hutan musim, savana, padang lamun serta terumbu karang.

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di ekosistem terumbu karang Pulau Menjangan. Pulau dengan luas  $\pm 175$  ha dikelilingi oleh gugusan terumbu karang tepi yang masih baik, dan merupakan kawasan pariwisata khususnya wisata selam yang cukup ramai. Pulau Menjangan secara administrasi termasuk dalam wilayah Kecamatan Gerokgak. Berdasarkan data kecamatan yang ada pada tahun 2015, jumlah kunjungan wisatawan baik domestik maupun mancanegara mencapai 44.366 kunjungan. Jumlah penduduk di wilayah Kecamatan Gerokgak tahun 2015 sebesar 82.640 jiwa, dengan kepadatan 232 orang/km<sup>2</sup>. Laju pertumbuhan penduduk pertahun sebesar 0,87 persen. Lokasi penelitian di Pulau Menjangan ditunjukkan pada Gambar 5.3.

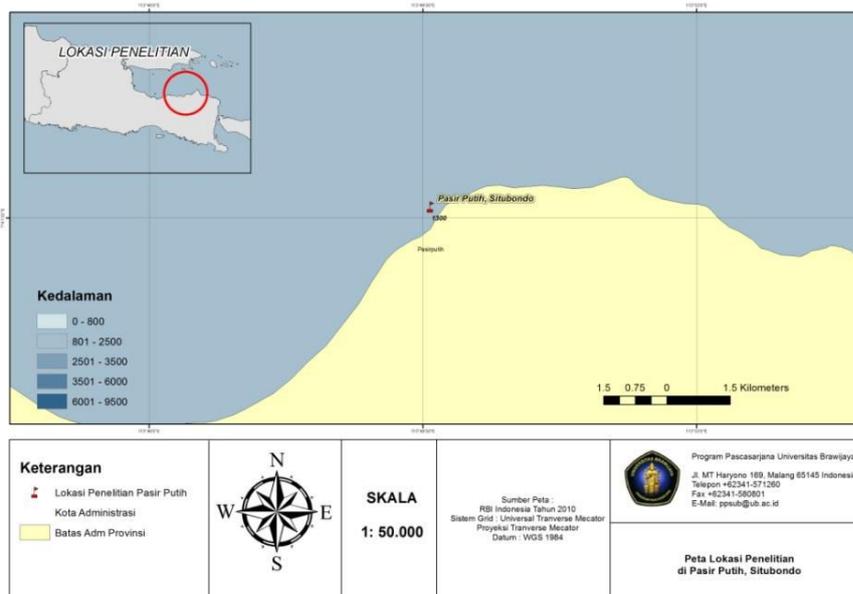


Gambar 5.3 Peta Lokasi Penelitian di Pulau Menjangan

### 3) Pantai Pasir Putih, Kabupaten Situbondo

Pantai Pasir Putih ialah kawasan pariwisata yang terletak di Kecamatan Bungatan, Kabupaten Situbondo. Secara geografis terdapat empat desa yang memiliki garis pantai atau daerah pesisir, dengan panjang pantai mencapai lima kilometer. Luas Kecamatan Bungatan 66,07 km<sup>2</sup> atau 6.607 ha, dengan desa Pasir Putih merupakan wilayah terluas (18,09 km<sup>2</sup>). Jumlah penduduk Kecamatan Bungatan sebesar 25.157 jiwa, sedangkan untuk desa Pasir Putih sebesar 4.030 jiwa dengan kepadatan penduduk 223 orang/km<sup>2</sup>.

Kawasan Pantai Pasir Putih ialah daerah pariwisata yang strategis karena terletak di poros jalan utama Surabaya-Banyuwangi, dan menjadi tempat wisata unggulan yang dimiliki oleh Kabupaten Situbondo. Jumlah kunjungan wisatawan di Pantai Pasir Putih pada tahun 2015 sebesar 162.341 orang, terdiri dari wisatawan domestik sebanyak 162.126 orang dan wisatawan mancanegara sebanyak 215 orang. Lokasi penelitian di kawasan Pantai Pasir Putih ditunjukkan pada Gambar 5.4.

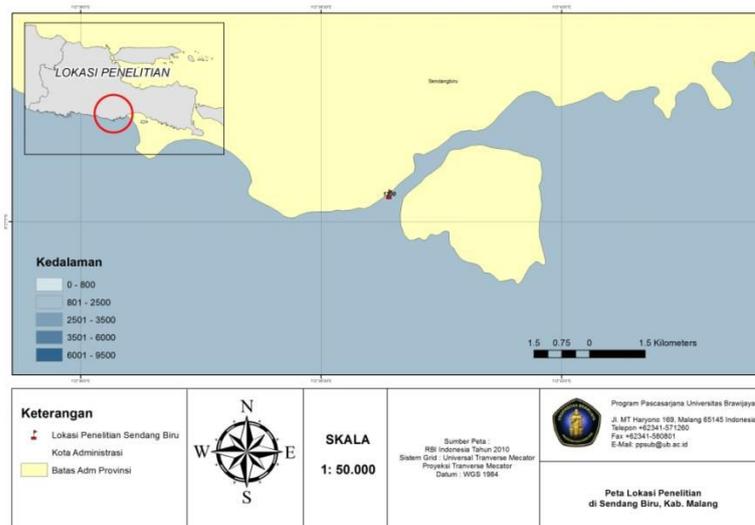


Gambar 5.4 Peta Lokasi Penelitian di Pantai Pasir Putih

#### 4) Pantai Sendang Biru, Kabupaten Malang

Pantai Sendang Biru ialah kawasan pesisir di selatan Kabupaten Malang. Secara administrasi berada di Dusun Sendangbiru, Desa Tambakrejo, Kecamatan Sumbermanjing Wetan. Pantai Sendang Biru ialah kawasan pantai dengan beragam aktifitas. Kawasan wisata di Pantai Sendang Biru di kelola oleh Perum Perhutani, terletak di petak 81 dan 86 dengan luas 50 ha dan luas manfaat 3 ha. Desa Tambakrejo dengan luas wilayah 27,39 km<sup>2</sup> dan jumlah penduduk sebesar 8.284 orang berkepadatan penduduk 3.024 orang/km<sup>2</sup>. Pantai ini berhadapan dengan Pulau Sempu yang hanya terpisahkan oleh selat sempit sepanjang ±4 km. Pulau Sempu ialah cagar alam yang dilindungi dan memiliki ciri khas tersendiri.

Beberapa tahun belakangan ini sektor pariwisata di kawasan Pantai Sendang Biru berkembang sangat pesat. Hal ini di karenakan adanya beberapa pantai baru yang dibuka untuk obyek wisata, seperti Pantai Clungup, Pantai Tiga Warna dan Pantai Gatra yang terletak disebelah barat kawasan Sendang Biru. Lokasi penelitian di kawasan Pantai Sendang Biru ditunjukkan pada Gambar 5.5.

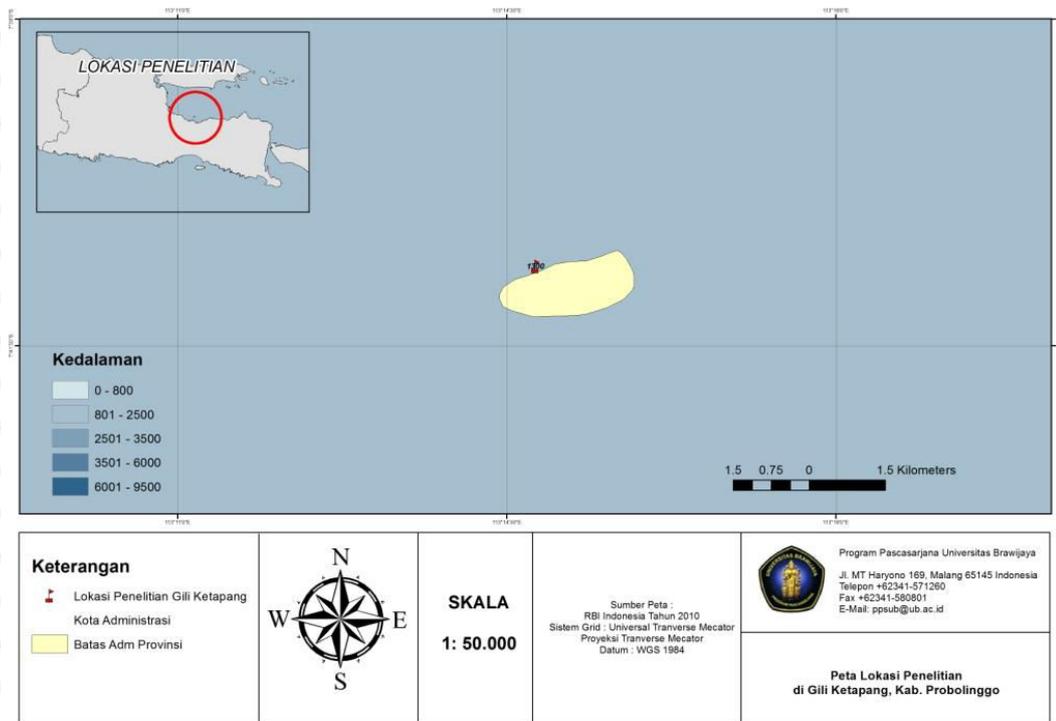


Gambar 5.5 Peta Lokasi Penelitian di Pantai Sendang Biru

### 5) Pulau Gili Ketapang, Kabupaten Probolinggo

Pulau Gili Ketapang ialah sebuah pulau di utara Kabupaten Probolinggo. Pulau ini merupakan bagian dari Kecamatan Sumberasih dan menjadi sebuah desa administratif tersendiri. Desa Gili Ketapang terdiri dari 8 dusun yang terbagi menjadi 8 RW dan 28 RT. Jumlah penduduk Desa Gili Ketapang sebanyak 4.640 laki-laki dan 4.820 orang wanita. Dengan luas wilayah sebesar 0,61 km<sup>2</sup> dan jumlah penduduk lebih dari sembilan ribu jiwa, Pulau Gili Ketapang memiliki kepadatan penduduk sebesar 15.508 orang/km<sup>2</sup>.

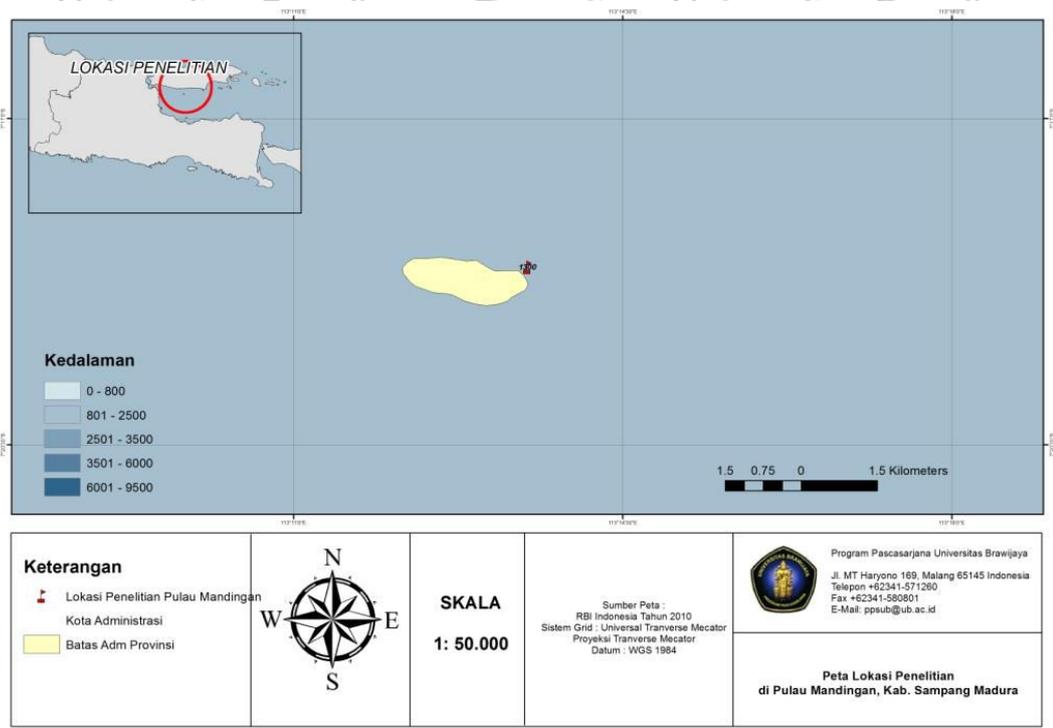
Gili (Pulau) Ketapang dikelilingi oleh gugusan terumbu karang yang saat ini kondisinya terancam oleh aktifitas penduduk yang sangat padat. Sebagian besar penduduk Gili Ketapang bermata pencaharian sebagai nelayan (90%), pedagang/pengusaha 5%, buruh 3% dan PNS 1%. Lokasi penelitian di Pulau Gili Ketapang ditunjukkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Peta Lokasi Penelitian di Pulau Gili Ketapang

### 6) Pulau Mandangin, Kabupaten Sampang

Pulau Mandangin termasuk dalam Kecamatan Sampang, Kabupaten Sampang dan terletak di selatan Pulau Madura. Luas Pulau Mandangin ialah 1,65 km<sup>2</sup>. Secara administrasi Pulau Mandangin ialah desa/kelurahan yang terdiri dari 3 dusun dan 16 RT serta memiliki jumlah penduduk sebesar 19.570 jiwa. Dengan luas wilayah dan jumlah penduduk tersebut, Pulau Mandangin memliki kepadatan penduduk sebesar 11.860 orang/km<sup>2</sup>. Sebagian besar penduduk Pulau Mandangin bermata pencaharian sebagai nelayan, yaitu 2.648 orang. Data BPS Kecamatan Sampang tahun 2015 juga menunjukkan jumlah rumah tangga perikanan berdasarkan jenis perahu, yaitu: 65 perahu, 535 motor tempel, 117 kapal motor dan 28 rumah tangga perikanan tanpa perahu. Lokasi penelitian di Pulau Mandangin ditunjukkan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Peta Lokasi Penelitian di Pulau Mandangin

Perbandingan data statistika, yang didapat dari sumber Badan Pusat Statistik, berupa luas wilayah, jumlah dan kepadatan penduduk serta jumlah kunjungan wisata di masing-masing lokasi penelitian secara singkat tersaji pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2 Data Kepadatan Penduduk dan Jumlah Kunjungan Wisata di Lokasi Penelitian**

Lokasi	Luas wilayah (km <sup>2</sup> )	Jumlah penduduk	Kepadatan penduduk (orang/km <sup>2</sup> )	Jumlah kunjungan wisata (orang/tahun)
Pulau Pari	0.95	2,740	2,884.2	207,105
Pulau Menjangan	190.03	82,640	434.9	44,366
Pasir Putih	18.09	4,030	222.8	162,341
Sendang Biru	27.39	8,284	302.4	8,800
Gili Ketapang	0.61	9,460	15,508.2	0
Pulau Mandangin	1.65	19,570	11,860.6	0

Berdasarkan tabel diatas dapat di asumsikan bahwa tekanan lingkungan di masing-masing lokasi penelitian dipengaruhi oleh kepadatan penduduk dan jumlah kunjungan wisata. Kepadatan penduduk dan jumlah kunjungan wisata akan mempengaruhi kondisi kualitas lingkungan yang akan dinilai berdasarkan jumlah persentase tutupan karang hidup dan jumlah persentase alga di masing-masing lokasi penelitian.

## 5.2 Persentase Tutupan Terumbu Karang dan Alga

### 5.2.1 Persentase Terumbu Karang

Status kondisi terumbu karang pada penelitian ini dilihat dan dinilai dari persentase tutupan karang keras hidup dan jumlah alga yang ada sebagai indikator kesehatan dan keseimbangan lingkungan. Pengambilan data terumbu karang dilakukan dengan menggunakan metode *kick frequency* dengan berenang/snorkling selama 15 menit (*timed swims*). Dengan kecepatan renang lebih kurang 20 meter/menit serta dengan melakukan pengamatan dan

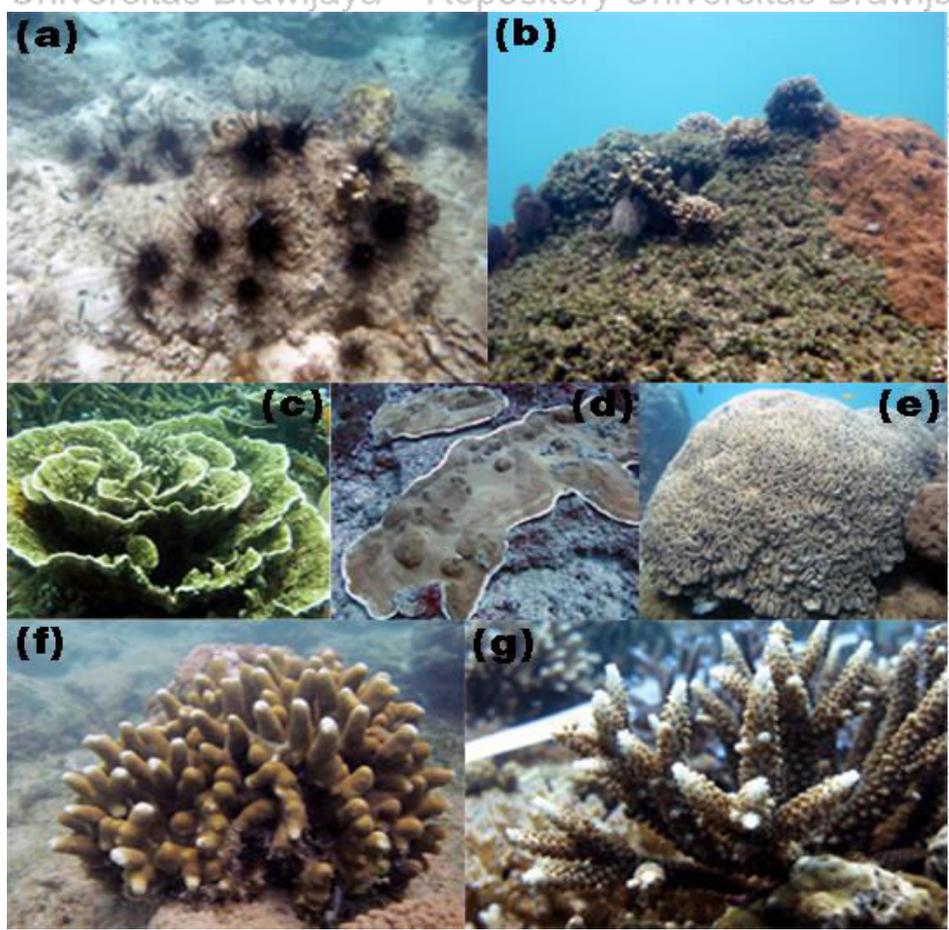
pencatatan, setiap transek imajiner memiliki jarak panjang sejauh ±150 meter.

Jika frekuensi rata-rata kayuhan kaki adalah 3/5 meter maka didapatkan 30 titik (*Point Intercept Transect*), atau terdapat 30 kali pencatatan terhadap tutupan

terumbu karang pada masing-masing transek. Pencatatan terhadap tutupan terumbu karang dalam penelitian ini berdasarkan bentuk pertumbuhannya

(*lifeform*) antara lain: *coral branching* (karang bercabang), *coral masive*, *coral folious*, *coral submasive*, dan jenis lainnya (*other*). Beberapa contoh gambar

bentuk pertumbuhan karang dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 (a) kondisi dasar perairan; (b) makroalga di sekitar terumbu karang; (c) coral folious; (d) coral encrusting; (e) coral massive; (f) coral submassive; (g) coral branching

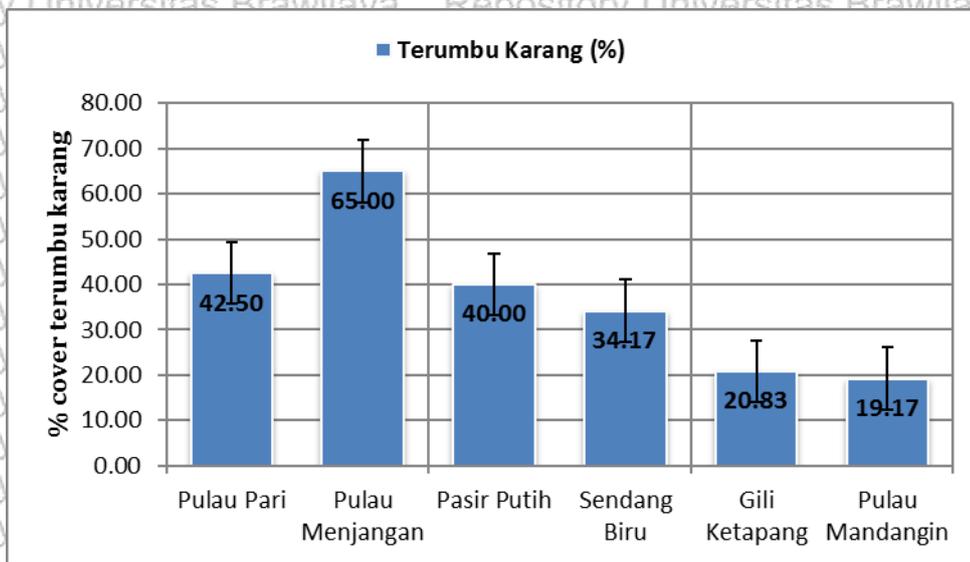


Pengambilan data terumbu karang dilakukan sebanyak empat pengulangan di masing-masing lokasi penelitian. Data hasil penelitian menunjukkan persentase terumbu karang di masing-masing lokasi dipengaruhi oleh kondisi tekanan lingkungan yang ada. Persentase terumbu karang di kawasan taman nasional memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang ada di kawasan pariwisata atau padat penduduk. Data persentase terumbu karang di masing-masing lokasi tersaji pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.3 Persentase Tutupan Terumbu Karang di Lokasi Penelitian**

Lokasi	Terumbu Karang (%)				
	1	2	3	4	rata-rata
1 Pulau Pari	43.3	43.3	40.0	43.3	42.50
2 Pulau Menjangan	63.3	66.7	66.7	63.3	65.00
3 Pasir Putih	36.7	40.0	43.3	40.0	40.00
4 Sendang Biru	33.3	33.3	36.7	33.3	34.17
5 Gili Ketapang	23.3	20.0	23.3	16.7	20.83
6 Pulau Mandangin	20.0	20.0	16.7	20.0	19.17

Data hasil penelitian menunjukkan persentase rata-rata tutupan karang hidup di masing-masing lokasi penelitian. Rata-rata persentase tutupan karang hidup yang paling tinggi di dapat di lokasi kedua yaitu Pulau Menjangan, Taman Nasional Bali Barat, dengan nilai 65,00%. Pulau Pari, Taman Nasional Kepulauan Seribu, sebesar 42,50%; kawasan pariwisata Pantai Pasir Putih, Kabupaten Situbondo, sebesar 40,00%; Pantai Sendang Biru, Kabupaten Malang, sebesar 34,17%; Pulau Gili Ketapang, Kabupaten Probolinggo, sebesar 20,83%; dan lokasi dengan rata-rata persentase tutupan terumbu karang paling rendah yaitu Pulau Mandangin dengan nilai 19,17%.



Gambar 5.9 Grafik Persentase Tutupan Terumbu Karang di Lokasi Penelitian

Grafik diatas menunjukkan perbandingan nilai rata-rata persentase tutupan terumbu karang di masing-masing lokasi penelitian. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata persentase tutupan terumbu karang di lokasi yang terlindung dalam hal ini adalah Taman Nasional, yaitu Pulau Pari dan Pulau Menjangan lebih besar dari kedua kategori lokasi yang lain, yaitu kawasan pariwisata dan padat penduduk. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi terumbu karang sangat dipengaruhi oleh keadaan wilayah sekitarnya khususnya aktifitas di daratan.

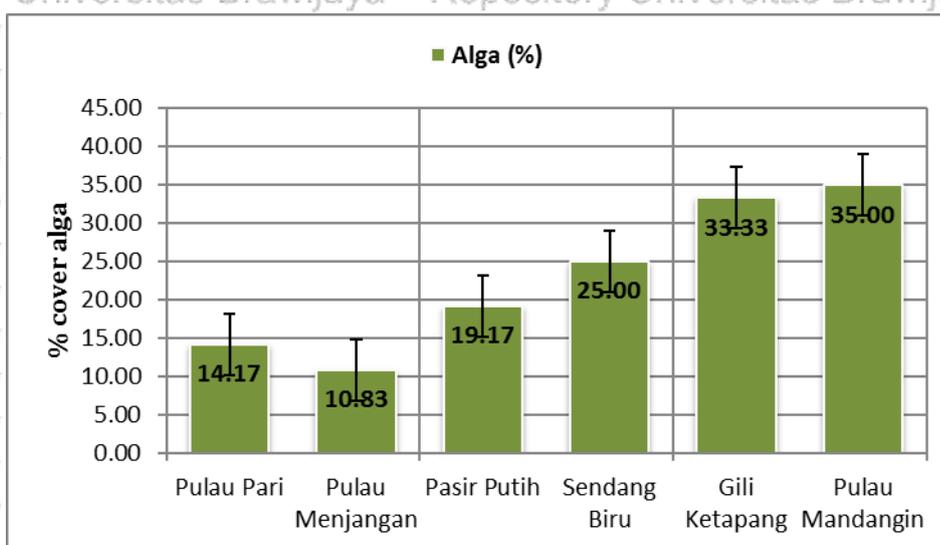
### 5.2.2 Persentase Alga

Pengambilan data persentase alga dilakukan bersamaan dengan pengambilan data terumbu karang. Dengan metode dan perhitungan yang sama, persentase alga di masing-masing lokasi penelitian tersaji pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Persentase Tutupan Alga di Lokasi Penelitian

Lokasi	Alga (%)				rata-rata
	1	2	3	4	
1 Pulau Pari	13.3	16.7	13.3	13.3	14.17
2 Pulau Menjangan	10.0	10.0	13.3	10.0	10.83
3 Pasir Putih	16.7	23.3	20.0	16.7	19.17
4 Sendang Biru	23.3	26.7	26.7	23.3	25.00
5 Gili Ketapang	36.7	36.7	30.0	30.0	33.33
6 Pulau Mandangin	33.3	36.7	33.3	36.7	35.00

Data hasil penelitian menunjukkan rata-rata persentase tutupan alga di masing-masing lokasi penelitian. Rata-rata persentase tutupan alga yang paling tinggi di dapat di lokasi keenam yaitu Pulau Mandangin, Kabupaten Sampang Madura, dengan nilai 35,00%. Pulau Gili Ketapang, Kabupaten Probolinggo, sebesar 33,33%; kawasan pariwisata Pantai Pasir Putih, Kabupaten Situbondo, sebesar 19,17%; Pantai Sendang Biru, Kabupaten Malang, sebesar 25,00%; Pulau Pari, Taman Nasional Kepulauan Seribu, sebesar 14,17%; dan lokasi dengan rata-rata persentase tutupan alga paling rendah yaitu Pulau Menjangan dengan nilai 10,83%.



Gambar 5.10 Grafik Persentase Tutupan Alga di Lokasi Penelitian

Grafik diatas menunjukkan perbandingan nilai rata-rata persentase tutupan alga di masing-masing lokasi penelitian. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata persentase tutupan alga di lokasi yang terlindungi dalam hal ini adalah Taman Nasional, yaitu Pulau Pari dan Pulau Menjangan lebih rendah dari kedua kategori lokasi yang lain, yaitu kawasan pariwisata dan padat penduduk. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah kelimpahan alga sangat dipengaruhi oleh keadaan wilayah sekitarnya khususnya aktifitas penduduk di daratan.

### 5.2.3 Korelasi Persentase Tutupan Terumbu Karang dan Alga

Berdasarkan data persentase tutupan terumbu karang dan alga, dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai persentase terumbu karang maka semakin kecil nilai persentase tutupan alga, demikian juga sebaliknya. Hubungan atau korelasi antara persentase tutupan terumbu karang dengan alga dihitung menggunakan analisis korelasi dengan variabel x (variabel bebas) yaitu tutupan terumbu karang dan variabel y (variabel terikat) yaitu persentase alga. Hasil perhitungan statistik yang menunjukkan nilai korelasi diantara keduanya tersaji pada Tabel 5.5.

**Tabel 5.5 Nilai Korelasi Antara Persentase Terumbu Karang dan Alga**

	<i>Terumbu Karang (%)</i>	<i>Alga (%)</i>
Terumbu Karang (%)	1	
Alga (%)	-0.896841646	1

Hasil perhitungan analisis korelasi antara terumbu karang dan alga pada masing-masing lokasi penelitian menunjukkan bahwa nilai korelasi antara keduanya adalah sebesar -0,897. Korelasi antara terumbu karang dan alga bernilai negatif, maka yang tergambarkan antara keduanya adalah hubungan yang berbanding terbalik. Sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan

bahwa pada lokasi yang memiliki persentase tutupan terumbu karang tinggi maka jumlah alga akan rendah, sebaliknya pada lokasi dengan persentase tutupan terumbu karang yang rendah, jumlah alga menjadi tinggi. Menurut Sarwono (2006), nilai korelasi yang semakin mendekati -1 atau 1 menunjukkan korelasi antara kedua variabel semakin kuat.

#### 5.4 Jenis dan Kepadatan Bulu Babi

##### 5.4.1 Identifikasi Bulu Babi

Identifikasi jenis bulu babi pada penelitian ini dilakukan dengan sekuen fragmen gen *Cytochrome Oxidase Subunit I* (COI). Tahapan isolasi DNA berdasarkan prosedur penggunaan *Gsync DNA Extraction Kit* dari Geneaid. Ada beberapa tahap yang dilakukan dalam proses identifikasi genetik, diawali dengan mengambil jaringan gonad bulu babi sebanyak 25 mg dan dimasukkan ke dalam tube microsentrifuge 1,5 ml lalu ditambahkan 200 µl GST, proteinase K (20mg/ml) sebanyak 20 µl dan di homogenkan dengan cara vortex lalu diinkubasi pada suhu 60 °C selama 15 jam. Kemudian ditambahkan 200 µl GSB buffer larutan dan divortex. Setelah itu, lisat sampel ditambahkan dengan 200 µl etanol absolut dan divortex kemudian dipindahkan ke dalam GD column yang telah diletakan pada collection tube 2 ml. Sampel di sentrifugasi dengan kecepatan 12 rcf selama 1 menit kemudian larutan hasil sentrifugasi dibuang dan GD column ditempatkan pada collection tube yang baru.

Selanjutnya dilakukan pencucian DNA dengan menambahkan sebanyak 400 µl W1 buffer pada GD column lalu disentrifugasi dengan kecepatan 12 rcf selama 30 detik. Larutan hasil sentrifugasi dibuang dan ditambahkan washbuffer sebanyak 600 µl pada GD column kemudian disentrifugasi kembali dengan kecepatan dan waktu yang sama. Larutan hasil sentrifugasi dibuang dan



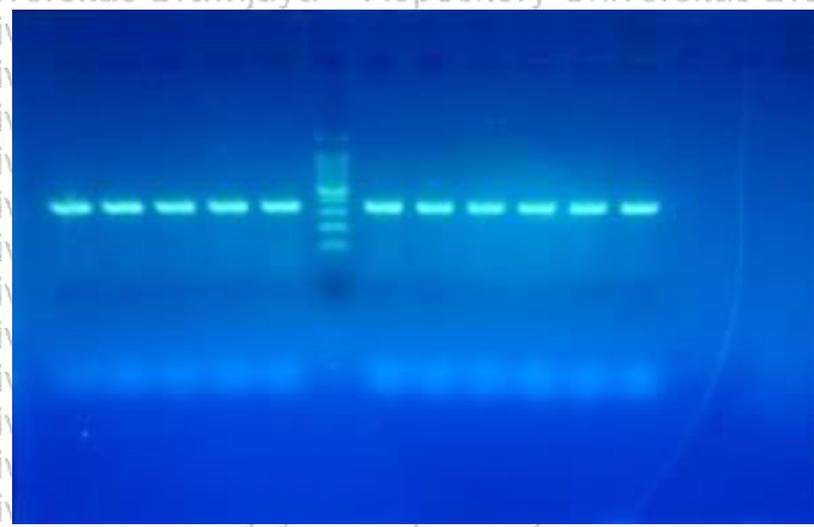
dilakukan sentrifugasi kedua dengan kecepatan 12 rcf selama 3 menit untuk mengeringkan matriks dalam column. Selanjutnya, GD column dipindahkan ke dalam microsentrifuge tube yang baru lalu ditambahkan dengan 50 µl elution buffer yang telah diinkubasi pada suhu 60 °C. Setelah itu, larutan diinkubasi pada suhu ruang selama 5 menit dan disentrifugasi dengan kecepatan 12 rcf selama 30 detik. Tahap tersebut dilakukan sebanyak dua kali, kemudian hasil isolasi DNA dapat diamati melalui proses elektroforensis gel agarose 0,8%.

Pada penelitian ini, analisis genetik bulu babi menggunakan primer yang mengacu pada penelitian Chow et al.,(2016) yaitu:

COI531F: 5'-ATGATTTCTCATGTGTAATTGC-3' dan

COI874R: 5'-AGTACAACGTCTATAGATGA-3'

Dengan suhu annealing 45 °C dan ukuran produk ±350 bp. Hasil dari proses elektroforensis gel agarose 0,8% pada tahap ekstraksi DNA dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Hasil Elektroforensis pada tahap Ekstraksi DNA

Tahap selanjutnya setelah isolasi DNA ialah tahap PCR (*Polymerase Chain Reaction*). PCR ialah tahap atau proses yang dilakukan untuk membuka rantai DNA dan kemudian memperbanyak atau menggandakan (replikasi) rantai tersebut dengan bantuan suhu. Metode PCR saat ini telah berkembang baik dengan adanya alat thermocycler yang mampu digunakan untuk mengatur waktu dan suhu secara cepat dan berulang. Sebelum menggunakan thermocycler tersebut, dibuat program terlebih dahulu sesuai dengan ketentuan yang telah diketahui sebelumnya, yaitu:

- Mengatur suhu dan waktu denaturasi (pemutusan ikatan hidrogen antara untai ganda DNA)
- Mengatur suhu dan waktu annealing (menempelnya primer pada untai DNA)
- Mengatur suhu dan waktu extention (proses pemanjangan rantai DNA)
- Mengatur jumlah siklus (banyaknya ulangan untuk sintesis DNA fragmen baru)

Proses PCR pada penelitian ini berlangsung selama 1 jam 44 menit, dengan siklus sebanyak 35 kali ulangan. Hasil dari tahap PCR dapat diamati melalui proses elektroforensis gel agarose selanjutnya akan diproses pada tahap sequencing.



Gambar 5.12 Hasil Elektroforensis pada tahap PCR

Hasil dari PCR kemudian dibawa ke tahap sequencing, yaitu tahap pembacaan rantai DNA untuk mendapatkan urutan basa nukleotida dari sampel penelitian. Pada penelitian ini proses sequencing DNA dilakukan di First Base Malaysia, dan diperoleh data sekuen berupa urutan basa nukleotida yang berbentuk file dengan ekstensi .ab1 dan .fas; yang masing-masing berisi sekuen DNA Forward dan Revers. File data tersebut kemudian dimasukkan kedalam tahap analisis dengan menggunakan software Bioedit dan Mega.

Program Bioedit berfungsi untuk menyatukan urutan pasangan basa nukleotida forward dan revers menjadi sekuen DNA utuh, yang akan dibaca sebagai informasi dasar sebuah gen atau genom. Fungsi yang digunakan dalam program bioedit tersebut adalah fungsi alignment. Alignment ialah tahap untuk menyatukan urutan basa forward dan reverse untuk selanjutnya dibaca pada proses BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*). Hasil proses alignment dari sepuluh sampel yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. >Consensus1  
 TKATGATTTCTCATGTAATTGCCACTATTCAGGAAAGCGAGAGCCAT  
 TCGGCTATCTAGGAATGGTTTATGCCATGATCGCTATTGGAATACTT  
 GGTTCCTTAGTATGAGCTCACCATATGTTTACAGTAGGAATGGACGTT  
 GACACCCGAGCTTACTTTACTGCCGCAACAATGATCATTGCCGTCCT  
 TACTGGAATCAAGGTATTTAGTTGAATGGCAACTCTTCAGGGATCAA



ACCTTCAGTGAGAAACCCCACTCCTGTGGGCACTAGGGTTTGTATTC  
 CTTTTACCTTGGGTGGATTAACGGGGATTGTTCTTGCCAATTCATCT  
 ATAACCGTTGTAATAA

2. >Consensus2

TKATGATTTCTCATGTAATTGCCCACTATTCAGGAAAGCGAGAGCCAT  
 TCGGTTATCTAGGAATGGTTTATGCCATGATCGCTATTGGAATACTTG  
 GTTTCTTAGTATGAGCTCACCATATGTTTACAGTAGGAATGGACGTTG  
 ACACCCGAGCTTACTTTACTGCCGCAACAATGATCATTGCCGTCCCT  
 ACTGGAATCAAGGTATTTAGTTGAATGGCAACTCTTCAGGGATCAA  
 CCTTCAATGAGAAACCCCACTCCTGTGGGCACTAGGGTTTGTATTCC  
 TTTTTACCTTGGGTGGATTAACGGGGATTGTTCTTGCCAATTCATCTA  
 TAACCGTTGTAATAA

3. >Consensus3

TTATGATTTCTCATGTAATTGCCCACTATTCAGGAAAGCGAGAGCC  
 ATTCGGCTATCTAGGAATGGTTTATGCCATGATCGCTATTGGAATACT  
 TGGTTTCTTAGTATGAGCTCACCATATGTTTACAGTAGGAATGGACGT  
 TGACACCCGAGCTTACTTTACTGCCGCAACAATGATCATTGCCGTCC  
 CACTGGAATTAAGGTATTTAGTTGAATGGCAACCCTTCAGGGATCA  
 AACCTTCAGTGAGAAACCCCACTCCTGTGGGCACTAGGGTTTGTATT  
 CTTTTACCTTGGGTGGATTAACGGGGATTGTTCTTGCCAATTCATC  
 TATAGACGTTGTAATAA

4. >Consensus4

TRTGATTTCTCATGTAATTGCCCACTATTCAGGAAAGCGAGAGCCA  
 TTCGGCTATCTAGGAATGGTTTATGCCATGATCGCTATTGGAATACTT  
 GGTTCCTTAGTATGAGCTCACCATATGTTTACAGTAGGAATGGACGTT  
 GACACCCGAGCTTACTTTACTGCCGCAACAATGATCATTGCCGTCCC  
 TACTGGAATTAAGGTATTTAGTTGAATGGCAACCCTTCAGGGATCAA  
 ACCTTCAGTGAGAAACCCCACTCCTGTGGGCACTAGGGTTTGTATTC  
 CTTTTACCTTGGGTGGATTAACGGGGATTGTTCTTGCCAATTCATCT  
 ATAACCGTTGTAATAA

5. >Consensus5

TKATGATTTCTTCAGTAATTGCCCACTATTCAGGAAAGCGAGAGCCAT  
 TCGGCTATCTAGGAATGGTTTATGCCATGATCGCTATTGGAATACTT  
 GGTTTCTTAGTATGAGCTCACCATATGTTTACAGTAGGAATGGACGTT  
 GACACCCGAGCTTACTTTACTGCCGCAACAATGATCATTGCCGTCCC  
 TACTGGAATTAAGGTATTTAGTTGAATGGCAACCCTTCAGGGATCAA  
 ACCTTCAGTGAGAAACCCCACTCCTGTGGGCACTAGGGTTTGTATTC  
 CTTTTCACCTTGGGTGGATTAACGGGGATTGTTCTTGCCAATTCATCT  
 ATAACCGTTGTAATAA

6. >Consensus6

TYATGATTTCTCATGTAATTGCCCACTATTCAGGAAAGCGAGAGCCAT  
 TCGGCTATCTAGGAATGGTTTATGCCATGATCGCTATTGGAATACTT  
 GGTTTCTTAGTATGAGCTCACCATATGTTTACAGTAGGAATGGACGTT  
 GACACCCGAGCTTACTTTACTGCCGCAACAATGATCATTGCCGTCCC  
 TACTGGAATTAAGGTATTTAGTTGAATGGCAACCCTTCAGGGATCAA  
 ACCTTCAGTGAGAAACCCCACTCCTGTGGGCACTAGGGTTTGTATTC  
 CTTTTACCTTGGGTGGATTAACGGGAATTGTTCTTGCCAATTCATCT  
 ATAGACGTTGTAATAA



## 7. &gt;Consensus7

TKATGATTTCTCATGTAATTGCCCACTATTCAGGAAAGCGAGAGCC  
 ATTCGGCTATCTAGGAATGGTTTATGCCATGATCGCTATTGGAATACT  
 TGGTTTCTTAGTATGAGCTCACCATATGTTTACAGTAGGAATGGACGT  
 TGACACCCGAGCTTACTTTACTGCCGCAACAATGATCATTGCCGTCC  
 CACTGGAATCAAGGTATTTAGTTGAATGGCAACTCTTCAGGGATCA  
 AACCTTCAGTGAGAAACCCCACTCCTGTGGGCACTAGGGTTTGTATT  
 CCTTTTACCTTGGGTGGATTAACGGGGATTGTTCTTGCCAATTCATC  
 TATAACCGTTGTAATAA

## 8. &gt;Consensus8

TKATGATTTCTTCAGTAATTGCCCACTATTCAGGAAAGCGAGAGCCAT  
 TCGGCTACCTAGGAATGGTTTATGCCATGATCGCTATTGGAATACTT  
 GGTTTCTTAGTATGAGCTCACCATATGTTTACAGTAGGAATGGACGT  
 GACACCCGAGCTTACTTTACTGCCGCAACAATGATCATTGCCGTCCC  
 TACTGGAATTAAGGTATTTAGTTGAATGGCAACCCTTCAGGGATCAA  
 ACCTTCAGTGAGAAACCCCACTCCTGTGGGCACTAGGGTTTGTATTC  
 CTTTTACCTTGGGTGGATTAACGGGGATTGTTCTTGCCAATTCATCT  
 ATAACCGTTGTAATAA

## 9. &gt;Consensus9

TKATGATTTCTCATGTAATTGCCCACTATTCAGGAAAGCGAGAGCCAT  
 TCGGCTATCTAGGAATGGTTTATGCCATGATCGCTATTGGAATACTT  
 GGTTTCTTAGTATGAGCTCACCATATGTTTACAGTAGGAATGGACGT  
 GACACCCGAGCTTACTTTACTGCCGCAACAATGATCATTGCCGTCCC  
 TACTGGAATCAAGGTATTTAGTTGAATGGCAACTCTTCAGGGATCAA  
 ACCTTCAGTGAGAAACCCCACTCCTGTGGGCACTAGGGTTTGTATTC  
 CTTTTACCTTGGGTGGATTAACGGGGATTGTTCTTGCCAATTCATCT  
 ATAGACGTTGTAATAA

## 10. &gt;Consensus10

TKATGATTTCTCATGTAATTGCCCACTATTCAGGAAAGCGAGAGCC  
 ATTCGGCTATCTAGGAATGGTTTATGCCATGATCGCTATTGGAATACT  
 TGGTTTCTTAGTATGAGCTCACCATATGTTTACAGTAGGAATGGACGT  
 TGACACCCGAGCTTACTTTACTGCCGCAACAATGATCATTGCCGTCC  
 CACTGGAATCAAGGTATTTAGTTGAATGGCAACTCTTCAGGGATCA  
 AACCTTCAGTGAGAAACCCCACTCCTGTGGGCACTAGGGTTTGTATT  
 CCTTTTACCTTGGGTGGATTAACGGGGATTGTTCTTGCCAATTCATC  
 TATAACCGTTGTAATAA

Consensus ialah gabungan urutan pasangan basa nukleotida forward dan revers yang akan dibaca dan dicocokkan pada *genbank* (National Center for Biotechnology Information - NCBI) untuk konfirmasi spesies, dengan menggunakan fungsi BLAST. Komposisi urutan basa nukleotida pada masing-masing consensus tersaji dalam Tabel 5.6.

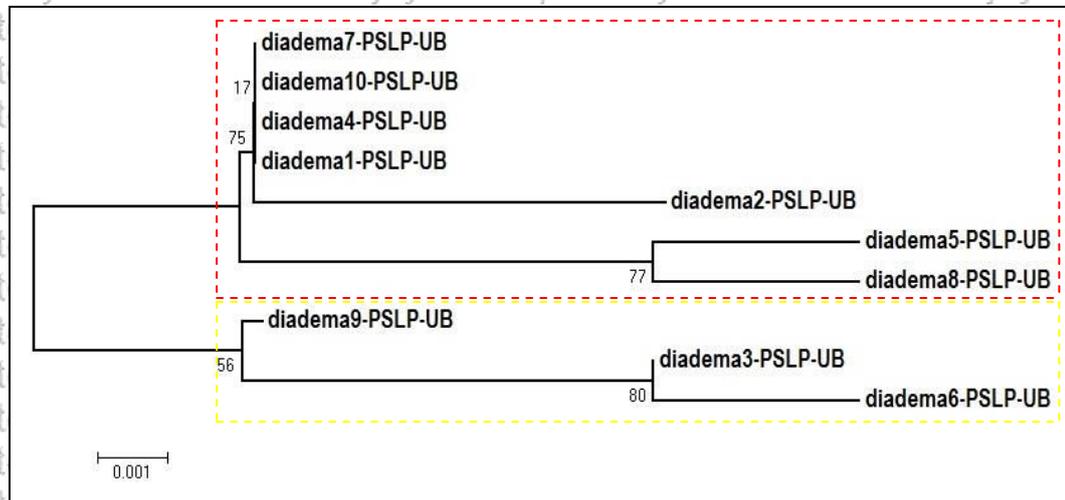
Tabel 5.6 Komposisi Basa Nukleotida Pada Masing-Masing Consensus

Consensus	Panjang (bp)	A		C		G		T	
		$\Sigma$	%	$\Sigma$	%	$\Sigma$	%	$\Sigma$	%
Consensus 1	348	87	25.00	74	21.26	75	21.55	111	31.90
Consensus 2	348	88	25.29	73	20.98	74	21.26	112	32.18
Consensus 3	349	87	24.93	74	21.20	76	21.28	112	32.09
Consensus 4	348	86	24.71	75	21.55	75	21.55	111	31.90
Consensus 5	348	87	25.00	75	21.55	75	21.55	110	31.61
Consensus 6	347	87	25.07	73	21.04	75	21.61	111	31.09
Consensus 7	350	88	25.14	75	21.43	75	21.43	111	31.71
Consensus 8	348	87	25.00	75	21.55	75	21.55	110	31.61
Consensus 9	348	87	25.00	73	20.98	76	21.84	111	31.90
Consensus 10	349	87	24.93	75	21.49	75	21.49	111	31.81

BLAST ialah penelusuran basis data sekuen untuk mendapatkan kesamaan urutan basa nukleotida dengan menggunakan program online pada halaman genbank (ncbi). Analisis Blast berfungsi sebagai konfirmasi genetik bahwa jenis yang diperoleh dalam penelitian ini ialah *Diadema setosum*. Secara berurutan dari sepuluh consensus yang ada, didapatkan bahwa spesies sampel dari penelitian ini ialah bulu babi dengan jenis *Diadema setosum*, dengan persentase kesamaan jenis sebesar 98% - 100%. Hasil tampilan dalam halaman genbank (ncbi) untuk masing-masing sampel, yaitu konfirmasi genetik yang menunjukkan bahwa sampel tersebut adalah jenis *Diadema setosum*, dapat dilihat pada lampiran.

Setelah proses Blast atau konfirmasi spesies tersebut selesai, dilakukan analisis filogenetik menggunakan metode *neighbor-joining*, dimana kalkulasi matrik jarak genetik dengan metode Kimura-2 parameter yang diimplementasikan pada *pairwise distance calculation* dalam program Mega (*Molecular Evolutionary Genetics Analysis*) software versi 5 (Tamura et al. 2011). Kepercayaan statistik dari dua metode dievaluasi menggunakan tes *bootstrap* dengan 1000 ulangan.

Analisis filogenetik dimaksudkan untuk mengetahui hubungan kekerabatan atau kedekatan antar spesies sampel yang ada dengan hasil identifikasi dari penelitian-penelitian sebelumnya. Hasil analisis filogenetik secara tertutup atau intra sampel dalam penelitian ini menunjukkan adanya beberapa perbedaan genetik dari masing-masing individu yang ada. Hal ini menunjukkan adanya variasi genetik dalam satu spesies dengan faktor pembeda yang dapat berupa lokasi pengambilan sampel. Hasil analisis filogenetik secara tertutup dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.13.



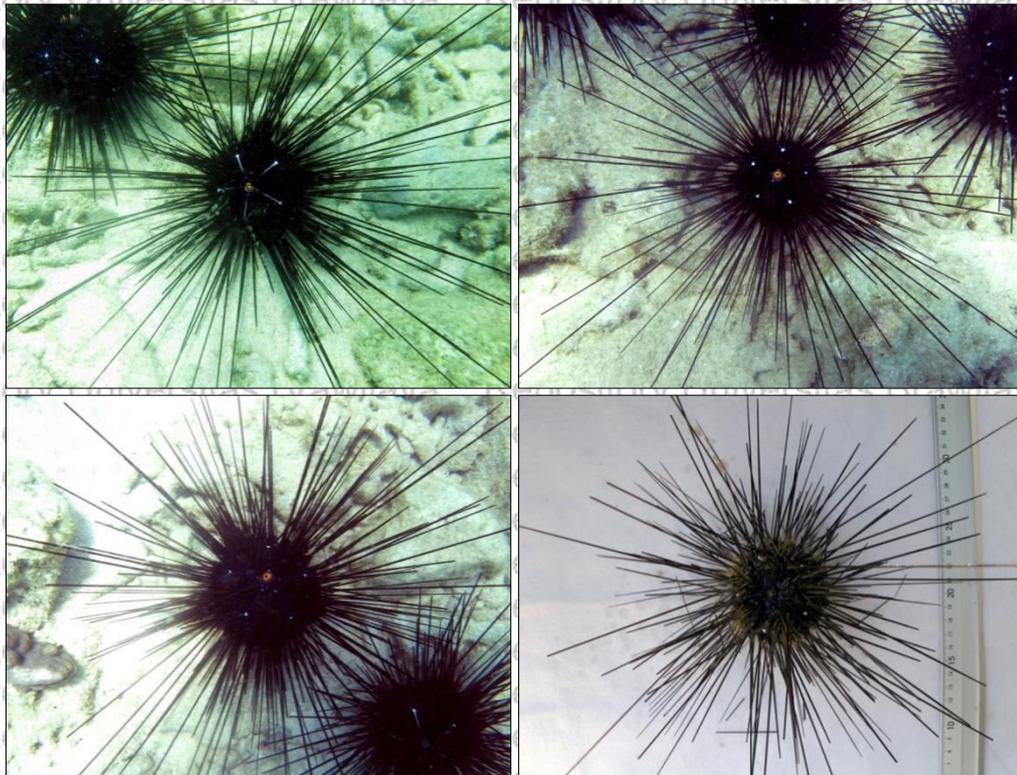
Gambar 5.13 Pohon Filogenetik Intra Sampel

Gambar pohon filogenetik diatas juga dapat dijelaskan melalui tabel *genetic distance*, yaitu tabel yang menunjukkan nilai perbedaan atau jarak genetik dari masing-masing individu atau sampel yang diamati. Tabel jarak genetik dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 5.7 Jarak Genetik Masing-masing Individu Sampel

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. diadema1-PSLP-UB										
2. diadema2-PSLP-UB	0.006									
3. diadema3-PSLP-UB	0.012	0.018								
4. diadema4-PSLP-UB	0.000	0.006	0.012							
5. diadema5-PSLP-UB	0.009	0.015	0.009	0.009						
6. diadema6-PSLP-UB	0.015	0.021	0.003	0.015	0.012					
7. diadema7-PSLP-UB	0.000	0.006	0.012	0.000	0.009	0.015				
8. diadema8-PSLP-UB	0.009	0.015	0.009	0.009	0.006	0.012	0.009			
9. diadema9-PSLP-UB	0.006	0.012	0.006	0.006	0.015	0.009	0.006	0.015		
10. diadema10-PSLP-UB	0.000	0.006	0.012	0.000	0.009	0.015	0.000	0.009	0.006	

Sepuluh sampel yang diidentifikasi secara genetik diambil dari lima lokasi pengambilan data, yaitu: sampel dengan nomor urut 1 dan 2 berasal dari Pulau Pari; nomor urut 3 dan 4 berasal dari Pasir Putih; nomor urut 5 dan 6 berasal dari Sendang Biru; nomor urut 7 dan 8 berasal dari Pulau Gili Ketapang serta nomor urut 9 dan 10 berasal dari Pulau Mandangin. Sampel dipilih secara acak untuk analisis genetik berdasarkan ciri morfologi yang sedikit berbeda antara satu sampel dengan yang lain, namun demikian secara genetik semua sampel tersebut ialah jenis yang sama yaitu *Diadema setosum*. Beberapa perbedaan ciri morfologi yang tampak dari masing-masing sampel dapat dilihat pada dokumentasi hasil penelitian yang tersaji pada Gambar 5.14.



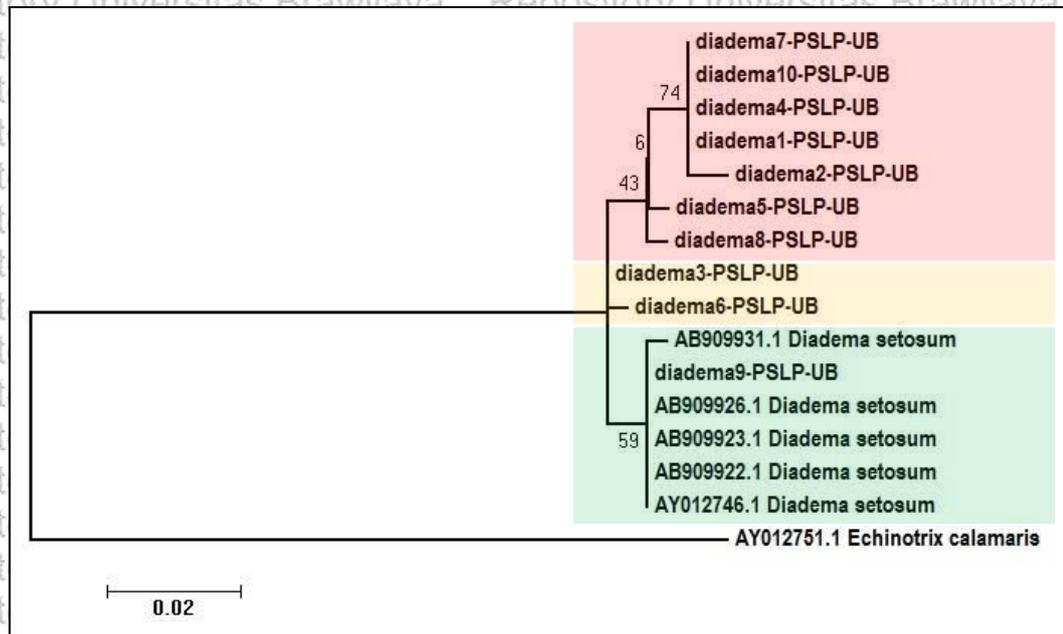
Gambar 5.14. **Bulu Babi (*Diadema setosum*)**

Analisis filogenetik juga dilakukan dengan membandingkan sekuen sampel dengan sekuen yang ada pada genebank. Hal ini bertujuan untuk mengkaji hubungan evolusi antar organisme atau gen dari unit taksonomi. Filogenetik atau kekerabatan sangat penting untuk diketahui sebagai dasar klasifikasi organisme.

Proses analisis ini diawali dengan mengambil sepuluh sekuen DNA dari *Diadema setosum* pada genebank dan satu sekuen DNA dari jenis *Echinotrix calamaris* sebagai *outgroup* pengelompokan jenis sampel. Kemudian file dalam bentuk fasta tersebut diolah menggunakan program MEGA, dengan metode Kimura.

Hasil analisis filogenetik dari sepuluh sekuen sampel dibandingkan dengan sekuen sejenis yang ada di genebank ditunjukkan melalui pohon filogenetik pada

Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Pohon Filogenetik Antar Spesies

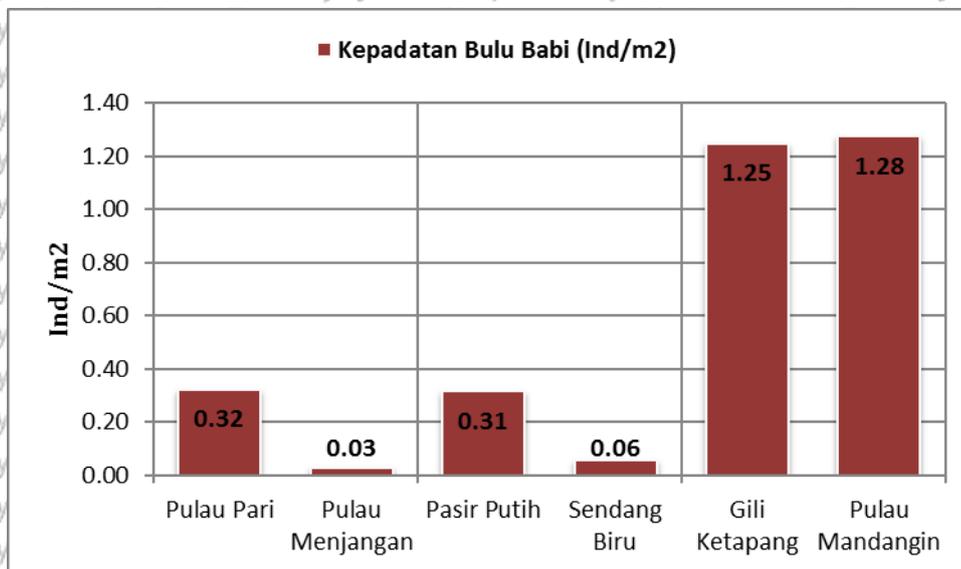
#### 5.4.2 Kepadatan Bulu Babi

Transek imajiner memiliki jarak panjang sejauh  $\pm 150$  meter. Dengan jarak pandang pengamatan ke arah kanan dan kiri sejauh 5 meter, maka luasan daerah pengamatan adalah  $750 \text{ m}^2$ . Pada luas daerah pengamatan tersebut, pada penelitian ini ditemukan empat jenis bulu babi, yaitu: *Diadema setosum*, *Diadema savignyi*, *Diadema antillarum*, dan *Diadema paucispinum*. Jenis bulu babi tersebut diidentifikasi dengan pendekatan morfologi dan genetik. Sedangkan kepadatannya dihitung dengan cara: jumlah bulu babi dibagi dengan luas daerah pengamatan.

Tabel 5.8 Kepadatan Bulu Babi di Lokasi Penelitian

Lokasi		Kepadatan Bulu Babi (Ind/m <sup>2</sup> )				rata-rata
		1	2	3	4	
1	Pulau Pari	0.29	0.35	0.31	0.34	0.32
2	Pulau Menjangan	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03
3	Pasir Putih	0.37	0.29	0.36	0.24	0.31
4	Sendang Biru	0.06	0.07	0.05	0.05	0.06
5	Gili Ketapang	1.12	1.35	1.22	1.30	1.25
6	Pulau Mandangin	1.31	1.25	1.27	1.27	1.28

Kepadatan rata-rata bulu babi pada masing-masing lokasi penelitian yang paling tinggi adalah di Pulau Menjangan, dengan nilai sebesar 1,28 Ind/m<sup>2</sup>. Pulau Pari sebesar 0,32 ind/m<sup>2</sup>; Pulau Menjangan sebesar 0,03 ind/m<sup>2</sup>; kawasan wisata Pantai Pasir Putih sebesar 0,33 ind/m<sup>2</sup>; Pantai Sendang Biru sebesar 0,06 ind/m<sup>2</sup>; dan Pulau Gili Ketapang sebesar 1,25 ind/m<sup>2</sup>. Perbandingan kepadatan bulu babi di masing-masing lokasi dapat dilihat pada Grafik 5.3 dibawah ini.



Gambar 5.16 Grafik Kepadatan Bulu Babi di Lokasi Penelitian

Kepadatan bulu babi di masing-masing lokasi penelitian pada tiap stasiun berkisar antara  $0,03 \text{ ind/m}^2$  –  $1,28 \text{ ind/m}^2$ . Kepadatan tertinggi berada pada kawasan padat penduduk dengan persentase tutupan terumbu karang yang rendah dan persentase alga yang tinggi. Sebaliknya, kepadatan yang terendah berada pada kawasan yang terlindung yaitu taman nasional dengan persentase tutupan terumbu karang yang tinggi dan persentase alga yang rendah.

### 5.5 Korelasi Kepadatan Bulu Babi dan Persentase Alga

Hubungan atau korelasi antara persentase terumbu karang dengan alga dihitung menggunakan analisis korelasi dengan variabel x (variabel bebas) yaitu kelimpahan bulu babi dan variabel y (variabel terikat) yaitu persentase alga. Nilai korelasi antara kedua biota tersebut tersaji pada Tabel 5.8.

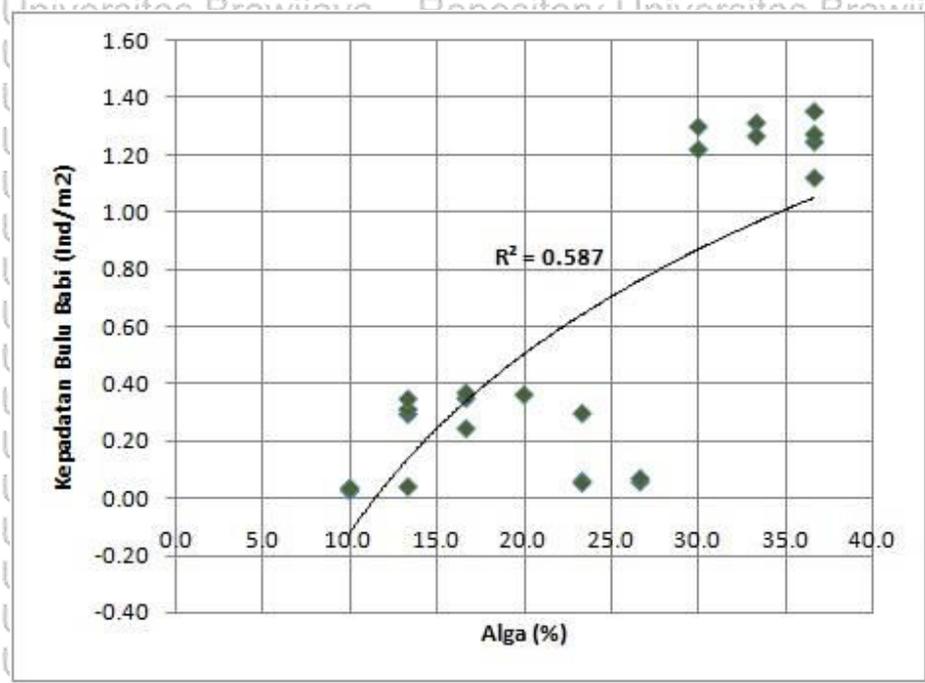
**Tabel 5.9 Nilai Korelasi Kepadatan Bulu Babi dan Persentase Alga**

	Alga (%)	Kepadatan Bulu Babi (Ind/m <sup>2</sup> )
Alga (%)	1	
Kepadatan Bulu Babi (Ind/m <sup>2</sup> )	0.821858164	1

Hasil perhitungan analisis korelasi antara kepadatan bulu babi dan persentase alga menunjukkan bahwa nilai korelasi antara keduanya adalah sebesar 0,822. Korelasi antara kepadatan bulu babi dengan persentase alga bernilai positif, hal ini menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara keduanya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada lokasi dengan kelimpahan bulu babi yang tinggi, maka nilai persentase alga di lokasi tersebut juga tinggi. Sebaliknya pada lokasi dengan kelimpahan bulu babi yang rendah, maka nilai persentase alga di lokasi tersebut juga rendah.

Bulu babi ialah organisme herbivor yang hidupnya sangat dipengaruhi oleh keberadaan sumber makanannya. Lawrence (1975), menyatakan bahwa keberadaan bulu babi menjadi penentu kelimpahan dan penyebaran tumbuhan laut seperti alga di perairan laut dangkal. Langdon (2013), menyatakan bahwa ada korelasi yang sangat kuat antara kepadatan bulu babi dan habitat yang berisi alga atau kombinasi antara batu dan alga.

Hubungan sebab akibat antara kelimpahan bulu babi dengan persentase alga dapat dihitung dengan analisis regresi. Gujarati (2009) mendefinisikan analisis regresi sebagai kajian terhadap ketergantungan satu variabel (variabel tergantung) terhadap satu atau lebih variabel lainnya (variabel eksplanatori) dengan tujuan untuk membuat prediksi rata-rata populasi atau nilai dari variabel tergantung. Hubungan regresi antara kelimpahan bulu babi terhadap persentase alga tersaji pada diagram di bawah ini.



Gambar 5.17 Diagram Regresi Linier Antara Kepadatan Bulu Babi Terhadap Persentase Alga



Hasil perhitungan koefisien regresi (R) antara hubungan kepadatan bulu babi dengan persentase alga menunjukkan nilai yang positif (hubungan linier positif). Hubungan linier positif menunjukkan bahwa kepadatan bulu babi bergantung kepada persentase alga. Nilai koefisien tersebut semakin mendekati 1 (satu) maka ketergantungan antara kedua variabel semakin kuat. Nilai koefisien regresi (R) pada lokasi penelitian sebesar 0,675. Nilai tersebut menunjukkan hubungan ketergantungan antara kelimpahan bulu babi terhadap persentase alga cukup kuat. Semakin besar persentase alga akan diikuti oleh peningkatan jumlah kelimpahan bulu babi di masing-masing lokasi penelitian.

### 5.6 Analisis Ragam Variasi Kepadatan Bulu Babi Pada Perbedaan Lokasi Pengambilan Data

Analisis ragam variasi (uji Anova) digunakan untuk mengetahui perbedaan rata-rata dua atau lebih kelompok data yang diamati, serta dapat juga digunakan sebagai uji hipotesa. Hipotesis atau dugaan awal sementara dalam penelitian ini ialah (H0) tidak ada perbedaan yang signifikan diantara lokasi penelitian terhadap kepadatan bulu babi dan (H1) ada perbedaan yang signifikan kepadatan bulu babi di masing-masing lokasi penelitian. Pada penelitian ini digunakan prosedur uji *one-way Anova* atau analisis variasi (kepadatan bulu babi) berdasarkan satu faktor (perbedaan lokasi pengambilan data).

Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Analisis Variasi

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F hitung	P-value	F crit
Lokasi	6.541188148	5	1.308237	507.91464	1.03511E-18	2.77285
galat	0.046362667	18	0.0025757			
Total	6.587550815	23				

Hasil perhitungan analisis didapatkan nilai F-hitung (507,91) lebih dari F-tabel (2,77), dengan alpha ( $\alpha$ ) atau batas kesalahan terbesar yang bisa diterima sebesar 0,05 (5%) dan nilai P-value kurang dari alpha ( $<0,05$ ). Berdasarkan nilai tersebut, maka dugaan ( $H_0$ ) ditolak, yang artinya perbedaan lokasi memberikan pengaruh signifikan terhadap kepadatan bulu babi.

### 5.7 Persepsi Masyarakat Terhadap Kondisi Tekanan Lingkungan

Pengukuran persepsi masyarakat di masing-masing lokasi penelitian terhadap kondisi tekanan lingkungan pesisir secara umum dan terhadap ekosistem terumbu karang secara khusus merupakan uji kuantitatif untuk memperkuat data hasil penelitian yang sudah dilakukan. Data persepsi masyarakat dalam penelitian ini diambil dari masyarakat sekitar baik yang tinggal maupun berkunjung, sebanyak dua puluh orang di masing-masing lokasi penelitian, total responden dari enam lokasi menjadi 120 orang. Profil responden berdasarkan pekerjaan dan tingkat pendidikan dapat dilihat pada Tabel 5.11.

**Tabel 5.11 Profil Responden Berdasarkan Jenis Pekerjaan dan Tingkat Pendidikan**

Pekerjaan			Pendidikan terakhir		
nelayan	57	48%	SD	39	33%
pedagang	21	18%	SMP	23	19%
petani	13	11%	SMA	49	41%
PNS	3	3%	D3	1	1%
wiraswasta	26	22%	Sarjana	8	7%
	120	100%		120	100%

Responden yang berjumlah 120 orang berlatar belakang pekerjaan sebagai nelayan sebanyak 57 orang, pedagang 21 orang, petani 13 orang, PNS 3 orang dan wiraswasta 26 orang. Sedangkan berdasarkan tingkat pendidikan responden, SD sebanyak 39 orang, SMP 23 orang, SMA 49 orang, Diploma3 sebanyak 1

orang dan sarjana 8 orang. Sebagian besar responden ialah nelayan (48%) serta tingkat pendidikan ialah SMA (41%).

Hasil analisis deskriptif pada masyarakat yang berada di masing-masing lokasi penelitian menunjukkan sebagian besar responden menyatakan bahwa lingkungan pesisir saat ini tengah mengalami tekanan dan penurunan kualitas lingkungan yang cukup besar. Pernyataan-pernyataan yang diajukan terhadap responden ialah pernyataan negatif dan memiliki bobot nilai sebesar 1 (tidak tahu), 2 (tidak setuju), 3 (kurang setuju), 4 (setuju) dan 5 (sangat setuju). Dengan skala uji realibilitas dari 18 pernyataan sebesar 0,710. Berdasarkan penilaian dari masing-masing pernyataan tersebut diartikan bahwa semakin besar skor yang dipilih maka masyarakat menilai semakin besar tekanan yang ada serta semakin buruk kualitas lingkungan. Tingkat persepsi masyarakat secara keseluruhan terhadap kondisi tekanan lingkungan dapat dilihat pada Tabel 5.12.

**Tabel 5.12 Persentase Tingkat Persepsi Masyarakat**

Kategori	Interval Skor	Frekuensi	Persentase
Rendah	74.0 - 78.3	27	23%
Sedang	78.3 - 82.7	17	14%
Tinggi	82.7 - 87.0	76	63%
		120	100%

Hasil penilaian masyarakat terkait tekanan lingkungan menunjukkan adanya persepsi tentang keadaan lingkungan yang mengalami tekanan. Sebanyak 76 dari 120 orang atau sebesar 63% responden menyatakan setuju-sangat setuju terhadap adanya tekanan lingkungan dan penurunan kualitas lingkungan pesisir secara umum dan terumbu karang secara khusus. Penilaian masyarakat tersebut terhadap kondisi lingkungan dapat dilihat dari beberapa pernyataan yang sebagian besar responden memilih sangat setuju, seperti: (1) sebagian besar responden menyatakan bahwa terdapat nelayan atau warga masyarakat yang

