

**PEMANFAATAN CITRA SENTINEL-2 DALAM DETEKSI SEBARAN
TERUMBU KARANG SERTA ANALISIS KONDISI TERUMBU KARANG
BERDASARKAN *THERMAL STRESS* DI GUGUSAN PULAU PARI,
KEPULAUAN SERIBU, DKI JAKARTA**

SKRIPSI

Oleh :

RANGGA PANGESTU

NIM. 135080600111023



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

2019

PEMANFAATAN CITRA SENTINEL-2 DALAM DETEKSI SEBARAN TERUMBU
KARANG SERTA ANALISIS KONDISI TERUMBU KARANG BERDASARKAN
THERMAL STRESS DI GUGUSAN PULAU PARI, KEPULAUAN SERIBU, DKI
JAKARTA

SKRPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya

Oleh:
RANGGA PANGESTU
NIM. 135080600111023



PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
JUNI, 2019

Judul : PEMANFAATAN CITRA SENTINEL-2 DALAM DETEKSI
SEBARAN TERUMBU KARANG SERTA ANALISIS
KONDISI TERUMBU KARANG BERDASARKAN
THERMAL STRESS DI GUGUSAN PULAU PARI,
KEPULAUAN SERIBU, DKI JAKARTA

Nama Mahasiswa : RANGGA PANGESTU

NIM : 135080600111023

Program Studi : ILMU KELAUTAN

PENGUJI PEMBIMBING :

Pembimbing 1 : M. ARIF ZAINUL FUAD, S.Kel., M.Sc`

Pembimbing 2 : M. ARIF AS'ADI, S.Kel., M.Sc

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING :

Dosen Penguji 1 : FENI IRANAWATI, S.Pi M.Si., Ph.D

Dosen Penguji 2 : DWI CANDRA PRATIWI, S.Pi., M.Sc

Tanggal Ujian : 24 Juni 2019



LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

PEMANFAATAN CITRA SENTINEL-2 DALAM DETEKSI SEBARAN TERUMBU
KARANG SERTA ANALISIS KONDISI TERUMBU KARANG BERDASARKAN
THERMAL STRESS DI GUGUSAN PULAU PARI, KEPULAUAN SERIBU, DKI

Oleh:
RANGGA PANGESTU
NIM. 135080600111023

Telah dipertahankan didepan penguji
Pada tanggal 24 Juni 2019
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I

Menyetujui,
Dosen Pembimbing II

M. Arif Zainul Fuad, S.Kel.,M.Sc.

NIP. 19801005 200501 1 002

Tanggal : _____

M.Arif As'adi, S.kel.,M.Sc

NIP. 19821106 200812 002

Tanggal : _____

Mengetahui :
Ketua Jurusan PSPK

Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.Pi., MT

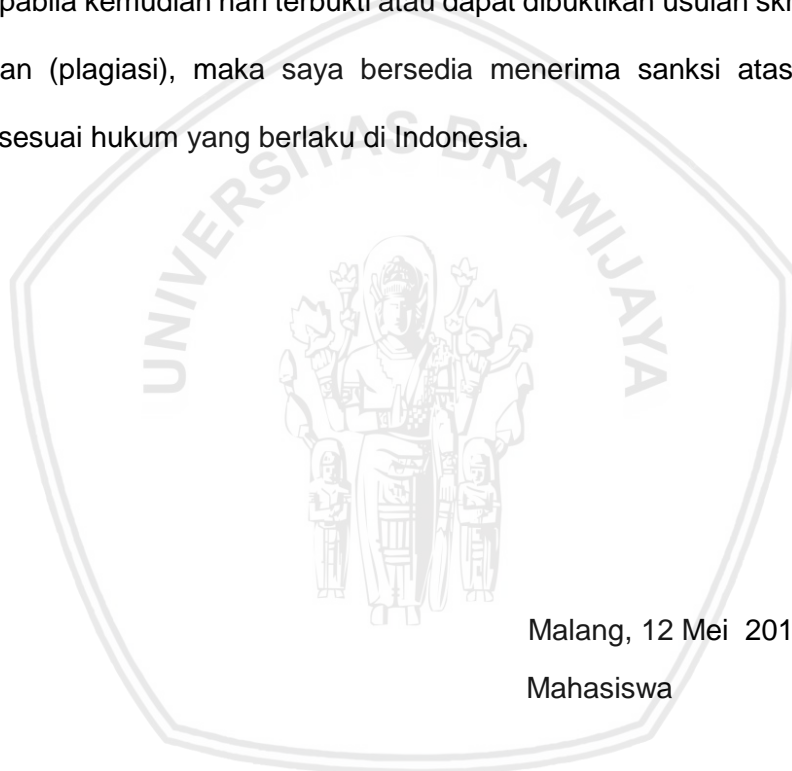
NIP. 19780717200 502 1 004

Tanggal _____

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam usulan skripsi yang saya tulis ini benar merupakan karya saya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan yang disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan usulan skripsi ini hasil penjiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.



Malang, 12 Mei 2018

Mahasiswa

Rangga Pangestu

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas terselesaikannya laporan Skripsi ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua (Bapak Junaedi dan Ibu Surti) yang senantiasa mendukung dan selalu memberikan do'a serta motivasi selama saya duduk di bangku perkuliahan ini.
2. Bapak M. Arif Zainul Fuad, S.Kel., M.Sc selaku Dosen Pembimbing 1 , atas bimbingannya dalam penyusunan laporan Skripsi ini hingga selesai.
3. Bapak M. Arif As'adi, S.Kel., M.Sc selaku Dosen Pembimbing 2 atas bimbingannya dalam penyusunan laporan skripsi ini hingga selesai.
4. Sahabat karib saya Dicky Budiyanto alias Ahok, yang telah banyak membantu saya ketika pengambilan data di Jakarta.
5. Bapak Zakaria alias Babeh dan Bang Pance yang telah banyak membantu ketika di Pulau Pari
6. Teman-teman seperjuangan Yudha P.M, Labiyanto, Dany Fachrun A, Jefri Hendra P, Alif Rofiq S.B. dan kawan satu kontrakan Puspo 18
7. PO Sumber Group, PO EKA-MIRA dan lainnya yang telah menunjang transportasi saya setiap satu minggu sekali untuk pulang pergi Malang – Yogyakarta.
8. Teman-teman IK 2013 dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan Skripsi ini baik secara materi maupun rohani.

RINGKASAN

RANGGA PANGESTU, Skripsi tentang Pemanfaatan Citra Sentinel-2 Dalam Deteksi Sebaran Terumbu Karang Serta Analisis Kondisi Lingkungan Habitat Terumbu Karang Berdasarkan *Thermal Stress* di Gugusan Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta (dibawah bimbingan M. Arif Zainul Fuad, S.Kel., M.Sc dan M. Arif As'adi, S.Kel., M.Sc)

Terumbu karang sebagai tempat hidup dari berbagai biota laut tropis lainnya memiliki keanekaragaman jenis biota yang sangat tinggi dan sangat produktif. Terumbu karang merupakan suatu ekosistem unik perairan tropis dengan tingkat kesuburan, keanekaragaman biota dan nilai estetika yang tinggi tetapi termasuk salah satu yang paling peka terhadap perubahan kualitas lingkungan. Gugusan Pulau Pari merupakan gugus pulau-pulau kecil yang memiliki perairan jernih dan ekosistem perairan dangkal yang lengkap, seperti terumbu karang, padang lamun, pantai dangkal berpasir dan laguna. Kompleksitas ekosistem perairan yang terhampar pada perairan dangkal yang jernih dan relatif luas ini menjadikan wilayah tersebut ideal untuk penelitian respon spektral citra satelit dan pemetaan ekosistem perairan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sebaran ekosistem terumbu karang di perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta berdasarkan data citra resolusi tinggi, yaitu dengan Citra Sentinel-2 pada tahun 2016 dan tahun 2017 serta menganalisa kondisi dan status ekosistem terumbu karang di perairan Gugus Pulau Pari berdasarkan data parameter *thermal stress*.

Deteksi sebaran terumbu karang di Gugus Pulau Pari menggunakan data Citra Sentinel-2 dengan resolusi piksel 10 meter. Pengolahan menggunakan empat kanal *band*, yaitu *band* 2,3,4 dan 8. Deteksi menggunakan metode Lyzenga (1978) dengan menggabungkan dua pasang kanal *band*. *Preprocessing* Citra Sentinel-2 meliputi koreksi radiometrik dan atmosferik, kemudian tahap pengolahan menggunakan transformasi Lyzenga, dan pengklasifikasian menggunakan *ISOCCLASS Unsupervised*. Survei lapang dan validasi data citra menggunakan metode *Stop and Go* dan uji akurasi peta melalui matriks kesalahan (*Error Matrix*). Data yang digunakan dalam analisis kondisi terumbu karang yaitu *Data Maximum Degree Heating Week*, *Hotspot*, dan Anomali Suhu Permukaan Laut dengan resolusi 5km yang diunduh dari <ftp://ftp.star.nesdis.noaa.gov>.

Hasil pengolahan Citra Sentinel-2 di Gugus Pulau Pari menghasilkan nilai akurasi sebesar 77,95%. Sebaran ekosistem terumbu karang hasil pengolahan berdasarkan data Sentinel-2 antara tahun 2016 dan 2017 mengalami perubahan luasan komponen kelas ekosistem. Komponen kelas yang menunjukkan penurunan luas adalah terumbu karang, baik karang hidup maupun karang mati. Kelas karang hidup turun sebesar 3,59 Ha, sedangkan kelas karang mati turun seluas 73,96 Ha. Komponen kelas yang mengalami kenaikan luasan yaitu kelas lamun/algae dan kelas pasir dimana lamun/algae naik sebesar 27,77 Ha dan pasir sebesar 63,51 Ha. Kondisi *thermal stress*, baik dari *Degree Heating Week* dan *Hotspot* maupun dari data anomali suhu permukaan laut memungkinkan untuk terjadinya fenomena *coral bleaching* yang berakhir pada berkurangnya luasan karang hidup pada kurun waktu Tahun 2016 sampai Tahun 2017 sebesar 3,59 Ha karena kondisi *thermal stress* khususnya pada Tahun 2016 berlangsung hampir sepanjang tahun pada Tahun 2016 di perairan gugus Pulau Pari.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya, Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi yang berjudul “PEMANFAATAN CITRA SENTINEL-2 DALAM DETEKSI SEBARAN TERUMBU KARANG SERTA ANALISIS KONDISI LINGKUNGAN HABITAT TERUMBU KARANG BERDASARKAN *THERMAL STRESS* DI GUGUSAN PULAU PARI, KEPULAUAN SERIBU, DKI JAKARTA”.

Laporan Skripsi ini disusun berdasarkan apa yang telah penulis lakukan di Lapang dan hasil pengolahan data. Laporan. Laporan Skripsi ini berisikan tentang deteksi terumbu karang di Gugus Pulau Pari, proses pengambilan data uji akurasi peta karang, dan analisis kondisi terumbu karang berdasarkan parameter *thermal stress* di Gugus Pulau Pari. Pemetaan terumbu karang dilakukan dengan metode algoritma Lyzenga melalui *Unsupervised Classification*.

Dengan keterbatasan pengetahuan yang dimiliki, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan. Penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang konstruktif. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih dan semoga laporan Skripsi ini bermanfaat bagi pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Malang, 22 Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iii
RINGKASAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Kegunaan	4
1.5 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	5
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pulau Pari	6
2.2 Terumbu Karang	7
2.2.1 Deskripsi Terumbu Karang.....	7
2.2.2 Kondisi Ekosistem Terumbu Karang	8
2.3 Teknik Penginderaan Jauh Dalam Pemantauan Ekosistem Terumbu Karang	9
2.3.1 Spektral Gelombang Elektromagnetik Dalam Konsep Dasar Penginderaan Jauh.....	9
2.3.2 Pemanfaatan Penginderaan Jauh Dalam Pemantauan Terumbu Karang	10
2.3.3 Karakteristik Spektral Elektromagnetik Terumbu Karang.....	11
2.3.4 Metode Deteksi Sebaran Terumbu Karang	13
2.4 Platform dalam Pemantauan Ekosistem Terumbu Karang	15
2.4.1 Sentinel-2.....	15
2.4.2 Data <i>Coral Reef Watch</i> NOAA	18
2.5 Faktor Pembatas.....	19
2.5.1 Faktor Lingkungan	20
2.5.2 Faktor Aktifitas Manusia	23
3. METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Alat Penelitian	26
3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian	27



3.2.1 Data Spasial.....	27
3.3 Metode Penelitian	28
3.4 Pengolahan Data Sebaran Ekosistem Terumbu Karang	28
3.4.1 Koreksi Radiometrik - Atmosferik	28
3.4.2 Komposit band dan Cropping Citra.....	29
3.4.3 Perhitungan algoritma lyzenga	30
3.4.4 Klasifikasi Citra.....	30
3.4.5 Uji Nilai Digital	31
3.5 <i>Ground Check</i> (Survei Lapangan).....	31
3.6 Analisa Kondisi Ekosistem Terumbu karang Berdasarkan <i>Heat Stress Level</i>	34
3.7 Skema Kerja Penelitian.....	35
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil.....	37
4.1.1 Kondisi Lapang	37
4.1.2 Hasil Peta Sebaran Ekosistem Terumbu Karang Tahun 2016 dan 2017.....	38
4.1.3 Data Parameter <i>Thermal stress</i>	44
4.1.4 Status dan Kondisi Terumbu Karang berdasarkan <i>Degree Heating Weeks</i> (DHW) dan <i>Hotspot</i>	48
4.2 Pembahasan.....	51
4.2.1 Analisa Sebaran Terumbu Karang tahun 2016 dan 2017	51
4.2.2 Analisis kondisi Lingkungan Terumbu Karang Berdasarkan Data Parameter <i>Thermal Stress</i>	54
4.2.3 Analisis Status dan Kondisi Ekosistem Terumbu Karang Terhadap Terjadinya <i>Coral Bleaching</i>	61
4.2.4 Analisis Kondisi dan Status Terumbu Karang Terhadap Sebaran Terumbu Karang di Perairan Gugus Pulau Pari	62
5 PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi Penelitian di perairan gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta	5
2. Karakteristik spektral karang, alga dan pasir (Xu dan Zhao,2014).	12
3. Distribusi spektral Terumbu Karang.....	13
4. Data Produk 100 km x 100 km Sentinel-2.....	16
5. Tingkat ancaman setempat terhadap ekosistem terumbu karang (Burke <i>et.al</i> ,2012).	25
6. Alur Validasi Ekosistem Terumbu Karang Metode Stop and Go	32
7. Titik Validasi <i>Ground Check</i> Peta Karang di Gugus Pulau Pari.....	33
8. Peta Sebaran Ekosistem Terumbu Karang Gugus Pulau Pari Tahun 2016	39
9. Peta Sebaran Ekosistem Terumbu Karang Gugus Pulau Pari Tahun 2017	41
10. Rata-rata Tahunan Suhu Permukaan Air Laut	45
11. Rata - Rata Tahunan Anomali Suhu Permukaan Air Laut.....	46
12. Rata - rata tahunan <i>Hotspot</i>	47
13. Rata - rata tahunan <i>Degree Heating Week</i> (DHW)	48
14. Hubungan Intensitas dan Periode Berlangsungnya terhadap Kondisi Terumbu Karang (P. Marshall and Schuttenberg 2006).....	57
15. Data DHW, <i>Hotspot</i> dan SST-anomali tahun 2016 dan 2017	63



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perbedaan Karakteristik Citra LANDSAT, SPOT dan SENTINEL (<i>European Space Agency 2012</i>).	18
2. Karakteristik Kanal Multi-Spektral Sentinel-2 (Gatti dan Bertollini,2015).....	18
3. Faktor Aktivitas Manusia yang mempengaruhi karang (Amin,2009).....	23
4. Alat Penelitian.....	26
5. Alat dalam Proses Pengolahan data	
6. Data Spasial Penelitian.....	27
7. Tingkat <i>Thermal Stress</i> Berdasarkan Data DHW dan <i>Hotspot</i> (Liu <i>et.al</i> , 2014).	35
8. Sebaran Ekosistem Terumbu Karang 2016	40
9. Sebaran Ekosistem Terumbu Karang 2017	42
10. Tabel Uji Akurasi Peta Sebaran Ekosistem Terumbu Karang di Gugus Pulau Pari.....	42
11. Nilai Digital Kelas Tetap	43
12. Data Suhu Permukaan Laut Rata - Rata Tahun 2013-2018 di Perairan Gugus Pulau Pari.....	45
13. Data Anomali Suhu Permukaan Laut Rata - Rata Tahun 2013-2018 di Perairan Gugus Pulau Pari	46
14. Data <i>Hotspot</i> Tahun 2013-2018 di Gugus Pulau Pari.....	47
15. Data <i>Degree Heating Week</i> Tahun 2013-2018 di Perairan Gugus Pulau Pari	48
16. Status dan Kondisi Ekosistem Terumbu Karang Berdasarkan Heat <i>Stress</i> di gugus Pulau Pari	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Dokumentasi Bawah Air.....	71
2. Data Hasil Pengukuran Suhu.....	72
3. Data Pengukuran DO.....	72
4. Data Pengukuran Salinitas.....	72
5. Data Pengukuran pH.....	72
6. Titik Validasi Karang Hidup.....	73
7. Titik Validasi Karang Mati.....	73
8. Titik Validasi Lamun.....	74
9. Titik Validasi Pasir.....	75



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terumbu karang merupakan suatu ekosistem unik perairan tropis dengan tingkat kesuburan, keanekaragaman biota dan nilai estetika yang tinggi tetapi termasuk salah satu yang paling peka terhadap perubahan kualitas lingkungan. Faktor lingkungan berpengaruh cukup besar terhadap pertumbuhan terumbu karang adalah cahaya, suhu, sedimentasi dan aktivitas biologi. Terumbu karang sebagai tempat hidup dari berbagai biota laut tropis lainnya memiliki keanekaragaman jenis biota yang sangat tinggi dan sangat produktif (Nybakken, 1988). Menurut Wilkinson dan Buddemeier (1994), terumbu karang sangat penting karena menyediakan ruang hidup dan perikanan subsisten bagi jutaan orang, yang telah mengembangkan budaya unik yang berbasis di sekitar sumber daya terumbu. Terumbu karang juga memberikan penghidupan bagi lebih banyak orang di daerah tropis yang memperoleh sebagian besar makanan dan pendapatan mereka dari produk terumbu karang atau dari kegiatan yang berkaitan dengan terumbu karang, seperti pariwisata.

Terumbu karang adalah salah satu ekosistem yang sangat terancam di dunia. Hingga kini, tekanan yang disebabkan oleh kegiatan manusia, seperti pencemaran dari daratan dan praktek perikanan yang merusak- telah dianggap sebagai bahaya utama untuk terumbu karang. Sementara masalah-masalah ini belum hilang, selama dua dekade terakhir telah muncul ancaman lain yang lebih potensial. Terumbu karang telah terpengaruh dengan naiknya tingkat kemunculan dan kerusakan karena fenomena sehubungan adanya aneka tekanan, khususnya kenaikan suhu air laut (Amin, 2009). Menurut Kunzmann dan Efendi (1994), terumbu karang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan di sekitarnya, baik

oleh faktor alam maupun kegiatan manusia. Menurut Rani (2004), peningkatan suhu permukaan laut dan kemungkinan bersamaan dengan faktor ancaman lain seperti penurunan salinitas setelah hujan dapat meningkatkan peristiwa pemutihan karang, dan juga akan terjadi peningkatan frekuensi dan perluasan peristiwa pemutihan karang. Bahkan dalam tahun 2020- 2030 peristiwa tersebut bisa terjadi secara tahunan pada semua daerah-daerah sebaran utama terumbu karang. Peningkatan jumlah penduduk dunia akan meningkatkan aktivitas pembangunan, termasuk di daerah pesisir dan sepanjang daerah aliran sungai yang secara langsung menjadi ancaman terhadap keberadaan ekosistem terumbu karang.

Penggunaan teknik penginderaan jauh dalam program monitoring atau pemantauan merupakan salah satu cara yang ditunjukkan kedalam banyak bidang pemanfaatan. Kesemua sistem teknologi tersebut memungkinkan untuk menunjang kebutuhan berbagai studi mulai dari pengambilan data biofisik secara langsung, pemetaan habitat dan analisa stres lingkungan dari data penginderaan jauh yang mana dengan teknik ini lebih efektif dari segi waktu dan biaya (J. D. Hedley *et al.* 2016). Menurut Xu dan Zhao (2014), sejak perubahan dinamis struktur ekosistem terumbu karang dipengaruhi oleh berbagai proses lingkungan sekitarnya pada skala spasial dari beberapa milimeter sampai ribuan kilometer, dan metode pemantauan konvensional tampaknya tidak memadai dalam mempelajari masalah berskala besar, salah satunya perubahan iklim global pada ekosistem terumbu karang, karena kurangnya akses terhadap data dalam waktu yang relatif singkat. Oleh karena itu, pengembangan teknologi penginderaan jauh memberi jalan baru bagi pemantauan regional ekosistem terumbu karang terhadap perubahan kondisi lingkungan dan stres.

Penggunaan teknologi penginderaan jauh merupakan salah satu alternatif yang tepat untuk mendeteksi terumbu karang bagi negara yang mempunyai wilayah yang sangat luas dan memerlukan waktu relatif singkat dan juga biaya

yang murah (Green *et al.*, 2000 dalam (Arief, 2013). Terumbu karang dan obyek bawah/dasar perairan dangkal lainnya dapat dideteksi dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh didasarkan pada analisa karakteristik respon spektral gelombang elektromagnetik dari setiap *band* yang direkam oleh sensor satelit, karena setiap obyek memiliki respon yang spesifik terhadap radiasi elektromagnetik.

Gugusan Pulau Pari merupakan gugus pulau-pulau kecil yang memiliki perairan jernih dan ekosistem perairan dangkal yang lengkap, seperti terumbu karang, padang lamun, pantai dangkal berpasir dan laguna. Kompleksitas ekosistem perairan yang terhampar pada perairan dangkal yang jernih dan relatif luas ini menjadikan wilayah tersebut ideal untuk penelitian respon spektral citra satelit dan pemetaan ekosistem perairan. Kondisi gugusan pulau yang sedemikian baik memberikan peluang pemanfaatan yang tinggi terhadap sumberdaya hayati dan non hayati di perairan ini (Helmi *et al.* 2011).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah yang perlu dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah sebaran ekosistem terumbu karang di perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta berdasarkan data citra resolusi resolusi tinggi, yaitu dengan Citra Sentinel-2.
2. Bagaimanakah kondisi dan status ekosistem terumbu karang di perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta berdasarkan data *thermal stress* ?
3. Bagaimanakah pengaruh antara data parameter *thermal stress* terhadap sebaran terumbu karang di gugus Pulau Pari, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu, DKI Jakarta?

1.3 Tujuan

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. sebaran ekosistem terumbu karang di perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta berdasarkan data citra resolusi tinggi, yaitu dengan Citra Sentinel-2
2. status dan kondisi ekosistem terumbu karang di perairan Gugus Pulau Pari berdasarkan data parameter *thermal stress*, dan
3. pengaruh antar nilai data parameter *thermal stress* terhadap sebaran terumbu karang gugus Pulau Pari, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu, DKI Jakarta

1.4 Kegunaan

Adapun kegunaan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Masyarakat

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sebaran ekosistem terumbu karang dengan menggunakan dan memanfaatkan teknik penginderaan jauh kelautan, dengan melibatkan parameter alam. Hasil dari penelitian ini akan memberikan informasi bagi masyarakat tentang kondisi ekosistem terumbu karang saat ini di perairan pulau Pari, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu, DKI Jakarta dan memberikan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga ekosistem terumbu karang.

2. Bagi Mahasiswa

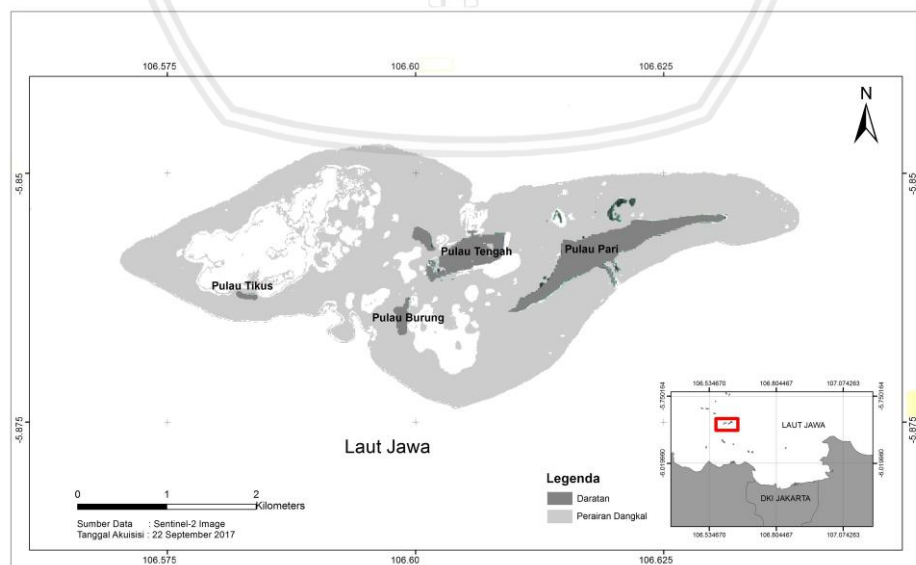
Penelitian ini berisi analisa deteksi ekosistem terumbu karang dengan suatu metode tertentu yang selanjutnya dikaitkan dengan parameter alam. Hal tersebut dapat dijadikan referensi oleh mahasiswa untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan penginderaan jauh dalam proses pemetaan ekosistem dan sumber daya laut.

3. Bagi Instansi Pemerintah

Penelitian ini menyajikan hasil data sebaran ekosistem terumbu karang di perairan sekitar pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. Dengan adanya data hasil penelitian tersebut, dapat digunakan oleh instansi pemerintah terkait dalam pertimbangan untuk menyusun suatu kebijakan baik untuk melestarikan, maupun dalam hal pemanfaatan ekosistem dan sumberdaya laut agar tetap terjaga.

1.5 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Lokasi survei lapangan (*ground check*) dan pengambilan data lapangan dilakukan di perairan Pulau Pari, Kabupaten Kepulauan Seribu, DKI Jakarta pada bulan 28 April 2018 – 2 Mei 2018, sedangkan pengolahan data penginderaan jauh *pra-ground check* dilakukan mulai bulan September 2017 dan pasca *ground check* dilakukan pada Mei 2018 hingga Juli 2018. Peta lokasi penelitian di perairan gugus Pulau Pari, Kabupaten Kepulauan Seribu, DKI Jakarta disajikan pada Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian di perairan gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pulau Pari

Pulau Pari secara administratif terletak di wilayah Kelurahan Pulau Pari, Kecamatan Kepulauan Seribu Selatan, Kabupaten Administratif Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. Status Pulau Pari sebagian adalah milik pemerintah karena disana terdapat UPT Loka Pengembangan Kompetensi Sumberdaya Manusia Oseanografi milik P20 LIPI yang berada di sebelah barat pulau, sedangkan sisanya adalah milik swasta yaitu PT Pari Asih . Secara kondisi alam, Pulau Pari memiliki topografi yang berbentuk datar dengan tipe pantai berpasir putih dan bervegetasi mangrove. Terumbu karang di Pulau Pari tergolong dalam kategori buruk hingga baik. Bentuk dasar laut berupa flat hingga kedalaman kurang dari 6 meter, kemudian kemiringan bertambah menjadi slope. Genus karang yang terdapat di perairan Pulau Pari tidak begitu beragam, diantaranya *Cyphastrea*, *Pectinia*, *Porites*, *Platygyra*, *Favia*, *Montipora*, *Echinopora*, *Lobophyllia*, *Montastrea*, *Fungia*, *Astreopora*, *Sandalolitha*, *Goniastrea*, *Leptoseris*, *Ctenactis*, dan *Acropora* (ppk-kp3k.kkp, 2017).

Gugus Pulau Pari merupakan kumpulan pulau-pulau kecil yang secara geomorfologi dibentuk oleh proses-proses laut dengan bentukan lahan yang cukup bervariasi di wilayah perairan laut yang dangkal. Gugus Pulau Pari terkelompok secara alami dengan zona geomorfologi yang cukup bervariasi pada perairan laut yang dangkal sehingga berpotensi sebagai tempat tumbuhnya terumbu karang, lamun, alga, dan *sponge*. Bentukan lahan tersebut mempengaruhi keberadaan suatu habitat bentik yang menempati di wilayah tertentu (Andréfouët *et al.* 2003).

Gugus Pulau Pari adalah suatu wilayah yang berada di Teluk Jakarta. Terdiri dari Pulau Pari, Pulau Kongsu, Pulau Tengah, Pulau Burung, dan Pulau Tikus yang dikelilingi oleh terumbu karang atol. Kondisi perairan pada daerah diluar atol

merupakan daerah perairan dalam sedangkan perairan di dalam atol merupakan daerah yang landai dan pada beberapa tempat terdapat laguna (*lagoon*) (Salim dan Ahmad, 2013).

2.2 Terumbu Karang

2.2.1 Deskripsi Terumbu Karang

Terumbu karang adalah struktur fisik yang terbentuk oleh kegiatan banyak hewan karang kecil yang hidup dalam koloni besar dan membentuk kerangka kapur bersama-sama. Selama ribuan tahun, gabungan massa kerangka kapur tersebut membentuk terumbu besar, yang sebagian diantaranya tampak dari angkasa. Ada sekitar 800 spesies karang pembentuk terumbu, yang membutuhkan persyaratan yang rumit, yakni membutuhkan perairan yang jernih, tembus cahaya, dan hangat. Hewan karang yang hidup sendiri, yang dikenal dengan polip, memiliki tubuh seperti tabung dan mulut yang berada di tengah yang dikelilingi oleh tentakel penyengat, yang dapat menangkap makanan. Di dalam jaringan tubuh polip, hidup mikroalga (*zooxanthellae*) yang membutuhkan cahaya matahari agar tetap hidup. Alga ini mengubah cahaya matahari menjadi zat gula (glukosa), yang menghasilkan tenaga untuk membantu kehidupan inang karangnya. Alga ini juga memberikan warna cerah pada karang (Burke *et al.* 2012).

Terumbu karang adalah sekumpulan hewan karang yang bersimbiosis dengan sejenis tumbuhan alga yang disebut dengan *zooxanthellae*. Terumbu karang merupakan ekosistem laut dangkal tropis yang paling kompleks dan produktif (Hariyanto dan Alhadir, 2016). Menurut Guntur, *et al.* (2012), terumbu karang (*coral reef*) merupakan ekosistem laut tropis yang terdapat di perairan laut dangkal yang jernih, hangat (lebih dari 22°C, memiliki kadar kalsium karbonat (CaCO₃) tinggi dan komunitasnya didominasi oleh berbagai jenis hewan karang keras.

2.2.2 Kondisi Ekosistem Terumbu Karang

Salah satu fenomena umum pada suatu terumbu karang akibat *stress* terhadap kondisi lingkungan yaitu pemutihan karang atau *bleaching*. Namun *bleaching* massal merupakan gejala yang tidak umum terjadi. Biasanya hal ini dipicu oleh naiknya suhu air laut secara tiba-tiba (Marshall dan Baird, 2000). Kejadian *coral bleaching* massal dilaporkan terjadi tahun 1998 di hampir seluruh perairan tropis dunia dan Indonesia yang diikuti dengan kematian massal koloni karang, terutama spesies yang tidak toleran terhadap perubahan suhu menjadi lebih tinggi. Matinya koloni karang dalam kejadian *bleaching* adalah akibat keluarnya *zooxanthellae* dari dalam jaringan tubuh karang secara permanen atau sulit terjadinya relokasi ke koloni yang sudah ditinggalkannya. *Zooxanthellae* merupakan alga uniseluler sebagai simbiosis bagi hewan karang (Rudi, 2012).

Menurut Amin (2009), keberadaan terumbu karang sangat sensitif terhadap pengaruh lingkungan baik yang bersifat fisik maupun kimia. Pengaruh itu dapat mengubah komunitas karang dan menghambat perkembangan terumbu karang secara keseluruhan. Kerusakan terumbu karang pada dasarnya dapat disebabkan oleh faktor fisik, biologi dan karena aktivitas manusia.

Menurut data pada survei COREMAP tahun 2007, sebanyak 3% terumbu karang Indonesia dinilai sangat sehat; 21% sehat; 42% sedang; dan 34% buruk atau sangat buruk berdasarkan ambang batas tutupan karang keras untuk hidup. Persentase terumbu karang yang sehat dan sangat sehat berkurang dibandingkan dengan survei yang dilakukan pertama kali pada tahun 2003. Laporan yang merangkum sepuluh tahun survei Pemeriksaan Terumbu Karang di Indonesia (1997-2006) menguatkan hasil tersebut, yang menemukan bahwa secara keseluruhan, tutupan karang keras berkurang, dengan kebanyakan tutupan karang dinilai rata-rata (26-50% tutupan karang hidup). Pada tahun 2010, kenaikan suhu air laut yang tidak biasa menyebabkan terjadinya pemutihan karang massal

di seluruh Asia Tenggara yang berdampak pada banyak terumbu karang di Indonesia. Daerah yang terkena paling parah adalah sekitar Sumatera dan Sulawesi, dengan 80-90% terumbu karang mengalami pemutihan di sekitar Aceh (di ujung utara Sumatera). Pemutihan tingkat rendah hingga sedang juga terlihat di Jawa, Bali, Lombok, Papua Barat, dan Maluku (Burke *et al.* 2012).

2.3 Teknik Penginderaan Jauh Dalam Pemantauan Ekosistem Terumbu Karang

2.3.1 Spektral Gelombang Elektromagnetik Dalam Konsep Dasar Penginderaan Jauh

Faktor kunci dalam penginderaan jauh adalah arah dari energi gelombang/sinar matahari, refleksi, refraksi, hamburan yang mana porsi distribusi dari energi (refleksi, refraksi, hamburan) tergantung pada sudut datang energi matahari dan material objeknya. Khusus untuk objek yang berada di bawah permukaan laut/objek yang berada didasar perairan dangkal (*shallow water depth*), energi satu *pixel* (*picture element*) yang ditangkap oleh sensor satelit penginderaan jauh dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain: energi refleksi, refraksi, hamburan, yang mana porsi radiasi yang dipantulkan, diserap atau diteruskan akan berbeda. Hal ini tergantung pada kondisi dan jenis bahan/materialnya serta pada panjang gelombang yang disebut dengan spektral. Spektral reflektan yang direkam oleh tergantung pada reflektan objek dan kedalaman. Pada cahaya tampak, variasi spektral menghasilkan efek visual yang disebut warna, dan nilai reflektansi sebuah objek dapat dihitung dengan mengukur porsi radiasi yang dipantulkan sebagai fungsi dari panjang gelombang yang disebut reflektansi spektral (Arief,2013).

Karakteristik spektral terkait dengan panjang gelombang yang digunakan untuk mendeteksi objek-objek yang ada di permukaan bumi. Makin sempit jalur (*range*) panjang gelombang yang digunakan, maka semakin tinggi kemampuan sensor itu dalam membedakan objek (Guntur, *et.al.*,2010). Pantulan spektral objek

mempunyai konfigurasi kurva yang merupakan indikator tentang jenis dan kondisi objek yang berkaitan, seperti pada tiga objek utama permukaan bumi yaitu vegetasi berdaun hijau, tanah gundul, dan air danau yang jernih. Ketiga objek tersebut menyajikan pantulan objek yang jelas terlihat pada setiap kenampakkannya (Lilesand dan Kiefer, 1990).

2.3.2 Pemanfaatan Penginderaan Jauh Dalam Pemantauan Terumbu Karang

Teknik penginderaan jauh memungkinkan untuk mensimultan dan menentukan secara ekstensif studi penelitian dalam hal deteksi area ekosistem karang serta informasi secara spasial dan juga dapat menyediakan. Program monitoring dengan pendekatan lingkungan berbasis data satelit yang digunakan oleh peneliti karang bertujuan untuk mengekstraksi informasi tentang lingkungan baik kondisi maupun sistem disekitar ekosistem karang. Hampir semua dari kegiatan monitoring yang dilakukan, digunakan berdasarkan analisa suhu permukaan laut, dimana suhu permukaan laut merupakan salah satu faktor yang dapat menjadi *stress* agen yang terjadi pada ekosistem terumbu karang selama beberapa dekade terakhir ini. Dalam data penginderaan jauh, dapat juga menyediakan data tentang “ocean colour” (klorofil, maupun suhu permukaan laut), cahaya, angin dan juga asidifikasi. Dengan cara menggabungkan antara dataset penginderaan jauh dengan beberapa faktor lingkungan yang berkaitan dengan kondisi ekosistem terumbu karang dapat peluang besar dalam menghasilkan karakterisasi secara fisik maupun hubungan biologis dalam skala luas. Apabila dilakukan dan digunakannya data secara historis serta analisa retrospektif, dengan informasi real-time dapat sangat memungkinkan dengan waktu singkat mengekstraksi informasi kondisi terbaru dari ekosistem khususnya dalam deteksi kondisi stres lingkungan, dengan hal tersebut dapat dilakukan deteksi dini dan meningkatkan awareness dalam potensi perubahan ekosistem sebelum terjadi.

Selain itu, pemanfaatan data penginderaan jauh untuk menginisialisasi dan memprediksi atau memodelkan keadaan sistem suatu habitat untuk meramalkan kondisi yang mungkin berpotensi terjadi dalam jangka waktu kedepan dari ekosistem terumbu karang dan dapat menentukan serta dapat meminimalkan dampak yang mungkin akan terjadi di lingkungan/ ekosistem (J. D. Hedley *et al.* 2016).

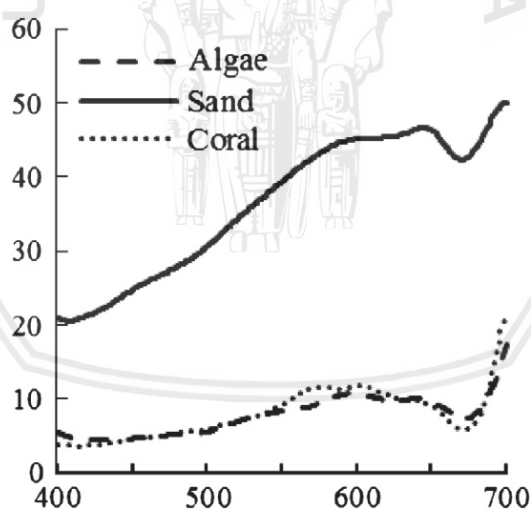
Penginderaan jauh untuk terumbu karang memanfaatkan sinara radiasi elektromagnetik pada daerah spektrum sinar tampak. Spektum ini dapat menembus air sehingga dapat mendeteksi terumbu karang yang berada dibawah permukaan air. Secara kasar spektrum sinar tampak dapat dibedakan kedalam tiga bagian, yaitu spektrum sinar biru (panjang gelombang yang kecil), sinar hijau (panjang gelombang sedang) dan sinar merah (panjang gelombang besar). Dari ketiga jenis spektrum warna tersebut, makin kecil panjang gelombangnya maka spektrum tersebut semakin dapat melakukan penetrasi kedalam air, sehingga berdasarkan ketiga spektrum tersebut maka sinar biru paling dapat untuk melakukan penetrasi kedalam air (Susilo, 1997 *dalam* Marini, 2001).

2.3.3 Karakteristik Spektral Elektromagnetik Terumbu Karang

Penginderaan jauh untuk terumbu karang memanfaatkan sinar radiasi elektromagnetik pada spectrum sinar tampak. Spektrum ini dapat menembus air sehingga dapat mendeteksi terumbu karang yang berada dibawah permukaan air. Spektrum sinar tampak dibagi menjadi sinar biru (panjang gelombang kecil), sinar hijau (panjang gelombang sedang) dan sinar merah (panjang gelombang besar), dan semakin kecil panjang gelombangnya maka spectrum terebut makin dapat menembus air (Susilo, 1997 *dalam* Guntur *et.al*,2012). Sinar biru pada air laut yang relative jernih akan menembus lebih dalam dari sinar hijau, dan pada saat sinar ini

mencapai dasar perairan, maka sinar tersebut akan dihamburkan dan ditangkap oleh sensor (Guntur *et.al*,2012).

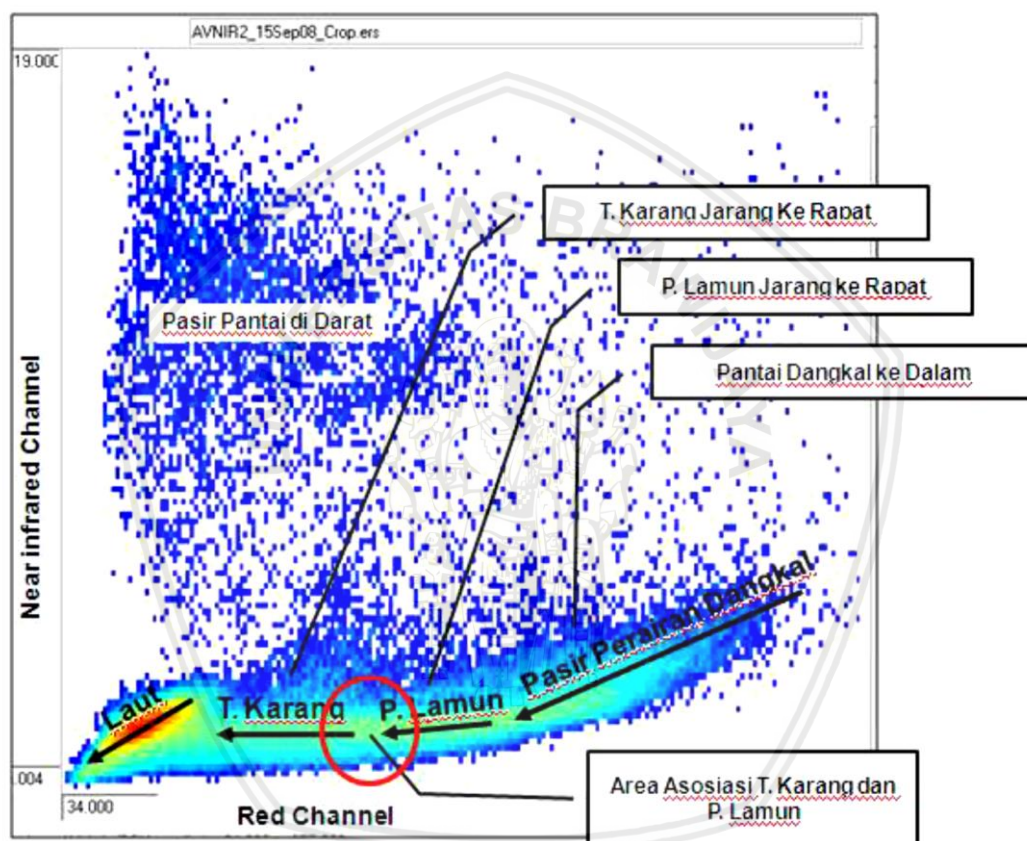
Karakteristik spektral terumbu karang umumnya bergantung pada absorpsi dan hamburan komposisi objek bentiknya. Komunitas terumbu karang sebagian besar terdiri dari mosaik karang, alga dan pasir. Baik karang dan alga mengandung klorofil dan pigmen fotosintesis lainnya. Besaran magnitude dan bentuk spektral menunjukkan kesamaan tertentu, dan sangat bergantung pada karakteristik absorpsi dan fluoresensi dari berbagai komposisi pigmennya. Sebaliknya, nilai kurva spektral pasir memiliki nilai lebih tinggi daripada karang dan alga. Pada semua ekosistem atau objek bawah laut, kurva spektral berada pada 600-650 nm. Karang memiliki puncak pantulan sekitar 570 nm (Xu dan Zhao, 2014). Perbedaan nilai spektral antara karang, pasir dan alga dapat dilihat pada Gambar 2. dibawah ini :



Gambar 2. Karakteristik spektral karang, alga dan pasir (Xu dan Zhao,2014).

Dalam penelitian Helmi *et al.* (2011), dijelaskan bahwa area terumbu karang tidak mudah dibedakan dengan area padang lamun, namun pada tampilan kurva pantul respon spektral terumbu karang dengan area padang lamun terlihat sangat berbeda. Saluran spektral hijau dan merah pada ALOS AVNIR pada area terumbu karang memiliki pantulan spektral yang hampir berhimpit (blok warna merah),

sedangkan pada padang lamun respon spektral saluran hijau selalu lebih tinggi dari pada merah (blok warna hijau). Respon spektral saluran biru, hijau dan merah pada area padang lamun jauh lebih tinggi dibandingkan respon spektral pada area terumbu karang. Selanjutnya, identifikasi area terumbu karang menggunakan pendekatan karakteristik spektralnya pada kurva pantul. Respon spektral pada setiap jenis ekosistem perairan dangkal ditampilkan pada Gambar .3 berikut ini :



Gambar 3. Distribusi spektral Terumbu Karang

2.3.4 Metode Deteksi Sebaran Terumbu Karang

Menurut Lyzenga (1978), pantulan dasar perairan tidak dapat diamati secara langsung pada citra satelit karena dipengaruhi oleh serapan dan hamburan pada lapisan permukaan air. Pengaruh ini dapat dihitung, jika pada setiap titik di suatu wilayah diketahui kedalaman dan karakteristik optis airnya. Menurut Suwargana (2014), ekstraksi informasi untuk identifikasi terumbu karang dapat menggunakan

transformasi metode Lyzengga (1978) yaitu berdasarkan pada formasi nilai dari reflektansi atau energi yang dipantulkan dari suatu dasar perairan. Nilai refleksi tersebut berkaitan erat dengan obyek dasar perairan dan fungsi eksponensial dari kedalaman air laut. Metode Lyzengga menurunkan persamaan yang disebut *Exponential Attenuation Model*, seperti diperlihatkan pada persamaan berikut ini :

$$L_i = L_i^{\sim} + (0,54 L_{ib} - L_i^{\sim}) \exp^{-2 k_i z}$$

dimana :

L_i = Refleksi pada kanal i

L_i^{\sim} = Rata-rata nilai reflektansi pada perairan laut dalam

L_{ib} = Reflektansi dasar perairan (0 m), kanal i

z = Kedalaman perairan

k_i = Koefesien atenuasi pada kanal i .

Pada persamaan 1 terdapat beberapa parameter yang belum diketahui nilainya, yaitu nilai reflektansi dasar perairan, koefesien atenuasi dan masing-masing kanal, dan kedalaman perairan untuk setiap *pixel* data. Oleh karenanya, persamaan 1 selanjutnya dikembangkan dengan menggunakan dua kanal *visible* (cahaya tampak), yaitu : kanal biru dan hijau. Dari hasil pengembangan menggunakan 2 kanal tersebut diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$Y = \ln(B1) - k_i/k_j \cdot L \ln(B2)$$

Dimana :

Y = Ekstraksi informasi dasar perairan

$B1$ = Nilai reflektansi kanal biru

$B2$ = Nilai reflektansi kanal hijau

k_i/k_j = Rasio koefesien kanal biru dan kanal hijau.

Koefisien atenuasi dihitung dari *slope bi-plot* data yang telah ditrasformasikan dengan ln (natural logaritma). Gradien bi-plot dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$K_i/k_j = a + \sqrt{a^2 + 1}$$

Dimana :

$$a = \frac{\text{var}(B_1) - \text{var}(B_2)}{2 \cdot \text{cov}(B_1, B_2)}$$

Var = nilai ragam dari nilai reflektansi band

Covar = nilai koefisien keragaman dari nilai reflektansi mm

Algoritma Lyzenga telah digunakan pada banyak studi pemetaan habitat karang dengan menggunakan berbagai data satelit (Arief, 2013). Dalam penelitian Muhsoni (2011), dijelaskan prosedur metode Lyzenga adalah sebagai berikut :

- 1) Pembuatan *training site* i pada saluran 1,2 dan 3, *training site* disini bukan untuk klasifikasi tetapi untuk menentukan k_i/k_j . Syaratnya obyek training site haruslah homogen tetapi berbeda kedalaman.
- 2) Menghitung parameter k_i/k_j dengan persamaan : Dimana : $a = \frac{\text{Var}(B_i) - \text{Var}(B_j)}{2 \cdot \text{Covar}(B_i, B_j)}$ Pada tahap ini dilakukan perhitungan training site dari band 1, 2 dan 3; menghitung varian B_1 , B_2 dan B_3 ; dan covarian (B_1, B_2) , (B_2, B_3) dan (B_1, B_3) .
- 3) Melakukan klasifikasi terumbu karang dengan klasifikasi unsupervised.

2.4 Platform dalam Pemantauan Ekosistem Terumbu Karang

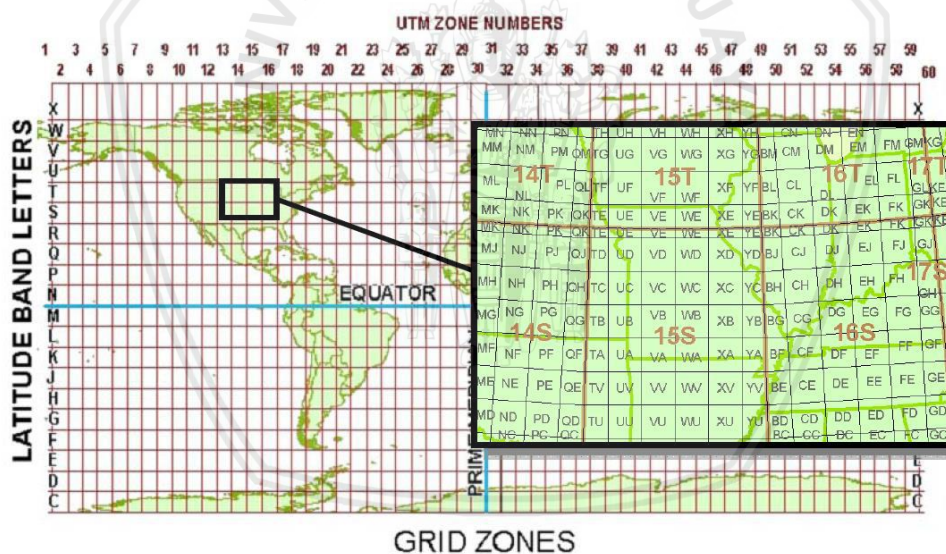
2.4.1 Sentinel-2

A. Karakteristik Data Sentinel-2

Sentinel merupakan *platform* dengan sensor multispektral yang tujuannya melengkapi dan meng-improvement sensor resolusi menengah seperti yang dimiliki SPOT XS dan Landsat. Namun demikian, instrumen yang dimiliki oleh Sentinel 2 telah mengembangkan beberapa improvement dimana dapat secara pemanfaatannya dirancang dapat dan cocok dalam aplikasi pemetaan ekosistem

terumbu karang. Dalam studi dan penelitian di bidang permodelan dan analisis simulasi citra telah mengevaluasi kemampuan dari instrumen Sentinel 2 hampir sama dengan SPOT-4 dan Landsat ETM+ dimana dapat dimanfaatkan dalam analisa batimetri, komposisi habitat bentik, dan untuk deteksi *coral bleaching*. Namun, dalam analisis dengan data Sentinel, noise dalam penalaran gelombang elektromagnetik sudah terminimalisir dalam inversi model untuk menkuantifikasi parameter dari setiap sensornya (J. Hedley *et al.* 2012).

Data produk Citra Sentinel-2 *ortho-rectified* (Level 1-C), tersedia pada *data folder granules*, satu data produk mencakup citra 100 km x 100 km dalam proyeksi UTM atau WGS 1984. Gambaran cakupan setiap data produk *ortho-rectified* level 1-C Sentinel-2 dapat dilihat pada Gambar 4 berikut :



Gambar 4. Data Produk 100 km x 100 km Sentinel-2

Data produk Level 1-C pada Sentinel-2 secara *default* sudah dilakukan koreksi geometric dan juga nilai reflektan yang disajikan sudah dalam bentuk TOA (*Top of Atmosphere*) dengan *sub-pixel* multispektral (Gatti dan Bertollini 2015) .

B. Karakteristik Citra Sentinel .

Menurut Sentinel.esa (2017), sentinel-2 merupakan citra multispektral dengan resolusi tinggi dan mendukung beberapa studi termasuk dalam pemantauan vegetasi, lahan, dan juga pemantauan daerah pesisir.

Sejak pemanfaatan teknologi penginderaan jauh digunakan dalam analisa tutupan ekosistem terumbu karang, beberapa sumber data dengan tutupan atau *cover area* 100 km banyak digunakan, dengan sensor resolusi menengah (antara 10m dan 30m). Seri Landsat .Sensor yang dimiliki oleh Sentinel 2 MSI dapat menyediakan data yang hampir sama dengan data yang dimiliki oleh Landsat 8 OLI, namun memiliki kualitas resolusi 10 m di beberapa band pada Sentinel dimana salah satu bentuk peningkatan dan perkembangan kualitas data yang kompatibel untuk analisa ekosistem terumbu karang. Sensor Landsat mulai digunakan dalam pemantauan ekosistem terumbu karang sejak tahun 1984 yang mana menyediakan data dalam periode jangka panjang, dan hal tersebut merupakan salah satu kelebihan dari data citra Landsat dibanding dengan lainnya (J. D. Hedley *et al.* 2016).

Menurut *European Space Agency* (2012), konfigurasi kanal band dari Sentinel 2 MSI merupakan hasil dari konfigurasi desain dari berbagai komunitas pengguna selama proses perancangannya. *Copernicus Service Elements* (GSEs) telah mengembangkan mutu dan kualitas data produk sentinel dalam penggunaannya seperti layaknya LANDSAT dan SPOT dan semua yang dibutuhkan oleh pengguna dapat didapat melalui data Sentinel-2 melalui kesemua kanal nya. Tabel.1 dibawah ini merupakan perbedaan dari karakteristik dari LANDSAT, SPOT dan SENTINEL.

Tabel 1. Perbedaan Karakteristik Citra LANDSAT, SPOT dan SENTINEL
(European Space Agency 2012).

	LANDSAT	SPOT	SENTINEL
Lama mengorbit	1972 - sekarang	1986 - sekarang	2014 - sekarang
Prinsip Sensor	Scanner	Pushbroom	Pushbroom
Siklus (hari)	16	26	5
Cakupan Luasan (km ²)	185	120 (2x60)	290
Kanal Spektral	7	4	13
Resolusi Spasial (m)	30, 60	2.5,10, 20	10, 20, 60

Menurut Gatti dan Bertolini (2015), kanal multi-spektral Sentinel-2 yang terdiri dari 13 kanal yang mengukur refleksi permukaan bumi yang terbagi menjadi kanal sinar tampak dan kanal (*Near Infra-red*) VNIR, hingga kanal band *Short Wave Infra-Red* (SWIR). Resolusi piksel setiap band dan resolusi spektral dari Sentinel-2 *Multi-Spectral Instrument* (MSI) dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Karakteristik Kanal Multi-Spektral Sentinel-2 (Gatti dan Bertolini,2015)

Nama Kanal Band	Indeks Kanal	Resolusi Piksel (m)	Panjang Gelombang (nm)
B1	0	60	443
B2	1	10	490
B3	2	10	560
B4	3	10	665
B5	4	20	705
B6	5	20	740
B7	6	20	783
B8	7	10	842
B8A	8	20	865
B9	9	60	945
B10	10	60	1375
B11	11	20	1610
B12	12	20	2190

2.4.2 Data Coral Reef Watch NOAA

Data produk NOAA yang digunakan oleh *Coral Reef Watch* berupa produk data SST yang diobservasi pada waktu malam hari / *nighttime*. Data produk *daytime* tidak digunakan karena data belum dapat mengeliminasi beberapa variabel yang ditimbulkan akibat sinar matahari dalam pemanasan permukaan laut, serta juga untuk menghindari kontaminasi dari *solar glare*. Apabila dibandingkan antara data SST *daytime* dengan SST *nighttime*, produk data SST *nighttime* dapat lebih

menghasilkan hasil serta perkiraan *thermal stress* hingga potensi pemutihan karang menjadi lebih akurat. Resolusi spasial dari dataset NOAA yaitu 0.5 derajat, yang berarti dalam satu dataset mencakup luasan sekitar 50 x 50 km. Data produk diperbaharui seminggu dua kali, pada hari Senin dan Kamis (NOAA,2015).

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) telah bekerja sama dengan peneliti dari berbagai negara untuk mengembangkan sistem dalam melakukan prediksi terhadap fenomena pemutihan karang (*coral blecing*). Sistem integrasi dalam observasi karang yang dilakukan NOAA meliputi beberapa data, seperti suhu permukaan laut, angin, penetrasi cahaya, yang dimanajemen oleh stasiun pemantauan dan beberapa ahli dibidang pemantauan pemutihan karang. Sistem pemrediksian didapatkan dari halaman *artificial intelegence research*, menggunakan program yang disebut dapat menghasilkan model yang menjelaskan alur respon karang terhadap kondisi lingkungannya, bisa karena perubahan lingkungan atau *stress*. Peubahan suhu ekstrim, polusi akibat aktifitas manusia dan aktifitas lainnya yang mempengaruhi kondisi karang, prediksi dalam hal stres terhadap karang hingga prediksi pemutihan karang menjadi sangat penting untuk dilakukan. Tujuan atau misi dari NOAA itu sendiri dalam prediksi *stress* pada karang hingga fenomena pemutihan karang secara global dengan bantuan data satelit (Gramer dan Hendee 2015).

2.5 Faktor Pembatas

Menurut Suharsono (1996) *dalam* Muhsoni (2011), sebaran terumbu karang tidak hanya terbatas secara horizontal tetapi juga terbatas secara vertikal dengan faktor kedalaman. Faktor utama yang mempengaruhi sebaran secara vertikal adalah intensitas cahaya, oksigen, suhu dan kecerahan air. Penyebaran dan pertumbuhan terumbu karang dipengaruhi oleh kedalaman, cahaya, kecerahan, salinitas, substrat dasar perairan dan pergerakan arus.

2.5.1 Faktor Lingkungan

2.5.1.1 Suhu Permukaan Laut

Air laut yang naik suhunya telah menyebabkan kerusakan terumbu karang secara luas. Suhu air laut yang tinggi memicu reaksi atas tekanan yang disebut pemutihan karang, yaitu karang kehilangan mikroalga simbiotiknya, sehingga menyingkap kerangka putihnya, dan menjadikannya rentan terhadap penyakit dan kematian. Gejala ini diperkirakan bertambah dalam beberapa dasawarsa mendatang (Burke *et al.* 2012). Tingginya suhu permukaan laut (SST) akibat pemanasan global merupakan salah satu ancaman utama terhadap terumbu karang. Sementara peningkatan SST telah terbukti berdampak negatif terhadap kesehatan terumbu karang dengan meningkatkan tingkat pemutihan karang, saat inipun bagaimana perubahan distribusi pemanasan atmosfer terhadap perubahan atau anomali SST masih kurang untuk dipahami alur prosesnya (Li dan Reidenbach 2014).

Suhu permukaan laut (SPL) merupakan komponen penting yang dapat mengendalikan cuaca dan iklim di wilayah Indonesia. Seiring dengan adanya isu perubahan iklim yang ditandai dengan peningkatan suhu global, maka SPL disinyalir juga berubah. Perubahan SPL dapat memengaruhi pola curah hujan pada suatu tempat. Dari analisa curah hujan tahun 1955-2005 ditemukan tren penurunan curah hujan serta tren penurunan kekuatan dan dominasi monsun. Hal ini menyebabkan perubahan pola hujan tahunan yaitu peningkatan curah hujan di musim hujan serta peningkatan periode musim keing atau ketidakseimbangan pola tahunan (Habibie dan Nuraini 2014).

2.5.1.2 Anomali Suhu Permukaan Laut

Data anomali suhu permukaan laut yang disediakan oleh *Coral Reef Watch* NOAA yang terbagi menjadi data harian maupun bulanan berbeda dengan data suhu permukaan laut secara klimatologi cuaca. Dalam data anomali suhu

permukaan laut, didapatkan berdasarkan kondisi *thermal* anomali, yang mana menunjukkan apakah suhu saat ini lebih dingin atau lebih hangat daripada suhu rata-rata pada jangka waktu periodik di setiap lokasi sepanjang tahunnya. Anomali positif atau terjadi peningkatan suhu dapat menyebabkan perkembangan tekanan panas yang berujung pada fenomena *bleaching* atau pemutihan pada karang. Hal ini sangat berguna untuk memonitoring kondisi perairan dan deteksi dini sebelum terjadinya *bleaching*. Sebagai contoh pada kasus fenomena *bleaching* besar-besaran pada 2005 di Karibia yang memecahkan rekor dan musim badai Atlantik Utara tersebut didahului oleh anomali suhu permukaan laut yang sangat tinggi di Samudra Atlantik bagian utara yang terjadi mulai pada awal Maret 2005, dan berlanjut hingga Desember 2005 (Liu *et al.* 2014).

Menurut Semedi (2016), anomali SST merupakan perbedaan antara suhu hari ini dengan suhu permukaan laut rata-rata jangka panjang. Skala anomali suhu permukaan laut memiliki rentang dari -5 Sampai + 5 ° C. Angka anomali bernilai positif berarti suhu itu lebih hangat dari rata-rata; sedangkan angka anomali bernilai negatif berarti suhu lebih dingin dari rata-rata.

2.5.1.3 Degree Heating Weeks

Menurut Liu *et al.* (2014), DHW (*Degree Heating Weeks*) merupakan akumulasi dari anomali temperatur/suhu yang melebihi nilai maksimal yang didapat dari nilai rata-rata suhu permukaan laut bulanan pada suatu wilayah dengan periode berkala/rolling periode 12 mingguan. Asumsi dari nilai DHW ini misalnya nilai DHW 2°C-*weeks* berarti dalam 2 minggu terjadi anomali melebihi nilai rata – rata suhu permukaan laut. Dengan hanya nilai anomali 1°C sudah dapat dijadikan parameter asumsi dalam terjadinya stres pada karang. Nilai DHW 4°C-*weeks* diperkirakan dapat menyebabkan pemutihan pada ekosistem karang dan jika nilai DHW 8°C-*weeks* dapat diperkirakan menyebabkan pemutihan secara luas dan berakhir dengan kematian karang.

Pemutihan merupakan gangguan paling signifikan pada ekosistem terumbu karang. *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* memonitor suhu permukaan laut secara global dan menyampaikan peringatan terhadap pemutihan karang/ *bleaching* berdasarkan *Degree Heating Weeks (DHW)*, dimana *DHW* merupakan akumulasi anomali suhu permukaan laut yang melebihi nilai maksimum rata-rata suhu permukaan laut bulanan di suatu area tertentu. Nilai *DHW* > 4°C-weeks dapat berakibat terjadinya *bleaching* pada karang dan apabila nilai *DHW* > 8°C-weeks dapat menghasilkan *bleaching* dalam skala luas dan kematian pada karang. Fenomena *bleaching* pada ekosistem terumbu karang terjadi pada tahun tertentu dengan nilai *DHW* tertentu, dan menurut penelitian menunjukkan proyeksi antara fenomena *bleaching* dan nilai *DHW* menghasilkan hubungan positif. *DHW* menyajikan ambang penentuan dalam fenomena pemutihan pada terumbu karang (Kayanne, 2016).

2.5.1.4 Hotspot

Hotspot merupakan anomali yang hanya bernilai positif saja, diturunkan dengan mengurangi *MMM* dari nilai *SST*. *Hotspot* telah terbukti menjadi ukuran parameter yang baik yang digunakan dalam analisa *thermal stress* yang terjadi pada ekosistem karang saat ini (Liu *et.al*,2014). Seperti halnya fenomena ekstrim lainnya, *hotspot* memiliki formasi dan pergerakan yang tidak dapat diprediksi datang dan perginya, karena arah, pergerakan dan waktunya sangat dipengaruhi banyak variable (Goreau,1994).

Menurut Liu *et.al* (2014), *Coral Reefs Watch* NOAA menghitung *thermal stress* yang dapat menyebabkan pemutihan pada ekosistem karang dengan membandingkan nilai *SST* near-real-time dengan *SST* jangka panjang (klimatologi) di setiap lokasi terumbu. Algoritma digunakan untuk mendukung produk monitoring *thermal stress* pada satelit *Coral Reefs Watch (CRW)*, dan pada akhirnya memperoleh produk dari *Coral Reefs Watch (CRW)*, yaitu *Degree Heating Weeks*

(DHW) dan *Hotspot*. Hasil produk CRW NOAA disebut juga *Maximum Monthly Mean (MMM) climatology* karena mencari wilayah suhu yang paling hangat dan menghitung rata-rata suhu bulanan.

2.5.2 Faktor Aktifitas Manusia

Menurut Amin (2009), berdasarkan laporan hasil penelitian LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia), bahwa terumbu karang di Indonesia hanya 7 % yang berada dalam kondisi sangat baik 24 % berada dalam kondisi baik, 29 % dalam kondisi sedang dan 40 % dalam kondisi buruk. Diperkirakan terumbu karang akan berkurang sekitar 70 % dalam waktu 40 tahun jika pengelolaannya tidak segera dilakukan. Saat ini, ekosistem terumbu karang secara terus menerus mendapat tekanan akibat berbagai aktivitas manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung. Ancaman manusia terhadap terumbu karang beserta akibat yang ditimbulkannya dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Faktor Aktifitas Manusia yang mempengaruhi karang (Amin,2009).

No	Aktivitas Manusia	Dampak yang ditimbulkan
1.	Bom	Karang mati, terbongkar dan patah-patah
2.	Racun/Potas	Karang mati dan berubah menjadi putih
3.	Trawl	Karang mati, terbongkar dan patah – patah
4.	Jaring Besar	Karang <i>stress</i> dan patah – patah
5.	Bubu	Karang mati, terbongkar dan patah – patah
6.	Jangkar	Karang hancur, patah dan terbongkar
7.	Berjalan di atas karang	Karang hancur, patah – patah
8.	Penambangan batu karang	Penurunan pondasi terumbu karang
9.	Kapal di perairan dangkal	Karang patah
10.	Alat pendorong perahu	Karang patah
11.	Cendera mata	Karang – karang yang indah hilang
12.	Sedimentasi	Karang mati akibat
13.	Polusi	Karang mati dan berubah menjadi putih

Objek utama wisata bahari yang paling diminati oleh wisatawan adalah selam dan snorkeling di area sistem kehidupan yang terdapat pada sekitaran ekosistem terumbu karang. Menurut Loya (1976) *dalam* (Liew, *et al*,.2001). meningkatnya kegiatan wisata bahari dapat mempengaruhi kondisi terumbu

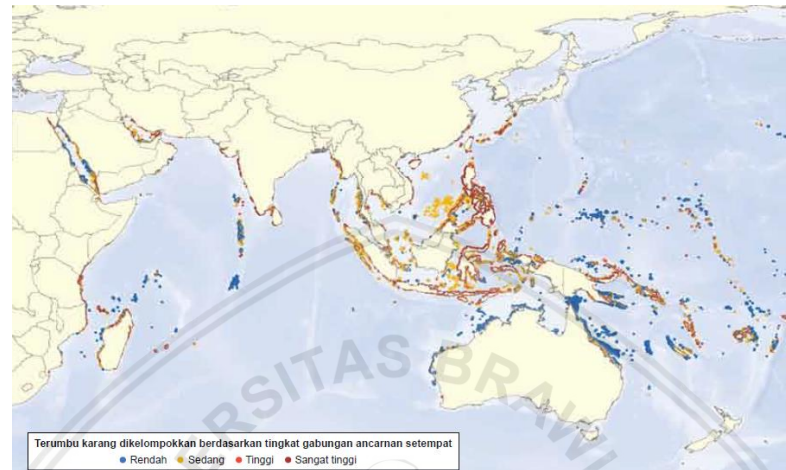


karang. Aktivitas wisata bahari dapat memberikan dampak kerusakan secara langsung maupun tidak langsung. Dampak langsung terjadi karena adanya kontak fisik wisatawan baik disengaja maupun tidak sengaja dengan terumbu karang saat wisata selam dan *snorkeling*. Sedangkan dampak tidak langsung terjadi karena pembangunan fasilitas wisata seperti hotel, dermaga dan fasilitas wisata lainnya yang secara tidak langsung mengubah bentuk penampakan wilayah pesisir.

Kondisi perairan yang tercemar akan menyebabkan menurunnya kualitas pertumbuhan terumbu karang. Wilayah Indonesia bagian barat merupakan salah satu wilayah yang sering mengalami pencemaran, pencemaran tersebut akan berdampak terhadap kelangsungan ekosistem terumbu karang, ekosistem terumbu karang yang termasuk ke dalam kategori baik di wilayah itu hanya tinggal 23 % dan sisanya berada dalam kategori buruk (Burke, *et al.* 2002 dalam Nugraha *et al.* 2011).

Menurut Burke *et al.* (2012), tekanan manusia terhadap terumbu karang digolongkan berasal dari “setempat” atau “dunia”. Penggolongan ini digunakan untuk membedakan antara ancaman yang berasal dari kegiatan manusia di dekat terumbu karang, yang berdampak langsung dan tergolong terbatas, dan ancaman yang mempengaruhi terumbu karang secara tidak langsung melalui dampak manusia terhadap iklim dunia dan susunan kimia air laut. Tekanan setempat tersebut antara lain, Pembangunan pesisir, termasuk perikanan pesisir, limpasan dari pembangunan pesisir, pembuangan limbah cair, dan dampak dari pariwisata yang merusak lingkungan. Pencemaran yang berasal dari daerah aliran sungai (DAS), terutama erosi dan limpasan unsur hara pupuk dari pertanian yang terbawa oleh air sungai ke perairan pesisir. Pencemaran dan kerusakan yang berasal dari laut, termasuk diantaranya limbah padat, zat unsur hara, bahan beracun dari instalasi minyak dan gas bumi dan pelayaran, serta kerusakan fisik akibat jangkar dan kapal kandas. Penangkapan berlebihan dan merusak,

termasuk penangkapan ikan dan invertebrata secara tidak berkelanjutan, dan penangkapan ikan yang merusak seperti penggunaan bahan peledak atau racun. Pengelompokan tingkat ancaman setempat terhadap ekosistem terumbu karang divisualisasikan dalam Gambar 5 dibawah ini :



Gambar 5. Tingkat ancaman setempat terhadap ekosistem terumbu karang (Burke *et.al*,2012).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat yang dibutuhkan dalam proses survei lapangan atau tahap *ground check* dan juga alat yang digunakan dalam mendukung proses pengolahan data penginderaan jauh. Menurut SPBN Pufatja (2015), sebelum melakukan pengolahan, ada beberapa perencanaan yang perlu dilakukan. Perencanaan pertama yang biasa dilakukan adalah persiapan alat untuk pengolahan data, antara lain: persiapan perangkat lunak dan perangkat keras pengolahan data. Alat yang digunakan dalam tahap proses survei lapangan atau *ground check* tersaji dalam Tabel 4 berikut ini :

Tabel 4. Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Fungsi
1.	Alat Selam Dasar	Piranti atau perangkat dalam penunjang mobilitas dalam pengamatan bawah air.
2.	Kamera B-Pro 5 AE II	Alat bantu dokumentasi objek dalam pengamatan bawah air (ekosistem perairan dangkal).
3.	GPS	Alat penanda titik lokasi survei atau <i>ground check</i> terumbu karang
4.	Thermometer .	Alat pengukur suhu permukaan laut saat di titik lokasi survei lapangan.
5.	DO Meter	Alat pengukur kadar oksigen terlarut saat di titik lokasi survei lapangan.
6.	Refraktometer	Alat pengukur nilai salinitas di titik lokasi survei lapangan.
7.	pH Meter	Alat pengukur nilai derajat keasaman di lokasi survei lapanga

Bahan dan perangkat lunak yang digunakan dalam proses pengolahan data penginderaan jauh tersaji dalam Tabel 5 berikut :

Tabel 5. Alat dalam Proses Pengolahan data

No.	Nama Alat dan Perangkat Lunak	Fungsi
1.	Laptop ASUS X555D (AMD 4 Core A10-8700P, up to 3.2 GHz, Memory 4Gb, Win 8.1	Piranti atau perangkat induk dalam proses pengolahan data penginderaan jauh, pembuatan laporan hingga penyimpanan data penginderaan jauh.

No.	Nama Alat dan Perangkat Lunak	Fungsi
	OS, Radeon R6 M340DX Graphics)	
2.	Software QGIS 2.14	Perangkat lunak dalam mengolah metadata data penginderaan jauh (Sentinel2) untuk proses koreksi Radiometrik dan Atmosferik
3.	Perangkat Lunak Surfer 10	Perangkat lunak untuk menampilkan peta kontur dari grid data hasil pengukuran parameter lapangan
4.	Perangkat lunak ErMapper 7.1	Perangkat lunak dalam pengolahan deteksi ekosistem terumbu karang, mulai dari pemotongan citra, perhitungan algoritma lyzenga hingga proses klasifikasi citra.
5.	Perangkat lunak ArcGIS 10.3	Perangkat lunak dalam proses pembuatan layout peta yang dilengkapi dengan unsur – unsur peta yang sesuai.
6.	Perangkat Lunak SEADAS	Perangkat lunak dalam ekstraksi data .netcdf data NOAA
7.	Microsoft Office Word 2010	Perangkat untuk menyusun laporan penelitian.
8.	Microsoft Office Excel 2010	Perangkat lunak untuk proses perhitungan algoritma lyzenga.

3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian

Jenis data maupun sumber data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data spasial maupun data insitu. Data spasial yang digunakan dalam penelitian ini tersaji dalam Tabel 6 berikut :

3.2.1 Data Spasial

Data spasial yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data citra satelit yang digunakan dalam pengolahan deteksi ekosistem terumbu karang. Data spasial yang digunakan dalam penelitian ini tersaji dalam Tabel 6 berikut :

Tabel 6. Data Spasial Penelitian

No	Nama Data/ Citra Satelit	Keterangan	Resolusi Spasial
1.	Citra Sentinel-2	Sebagai data spasial yang digunakan dalam deteksi terumbu karang https://scihub.copernicus.eu	10m
2.	Data NOAA	Sebagai data spasial yang digunakan sebagai sumber data sekunder dalam pengolahan data parameter kondisi	5 Km

No	Nama Data/ Citra Satelit	Keterangan	Resolusi Spasial
		<p>ekosistem karang (rerata suhu permukaan laut, anomali suhu permukaan laut dan <i>Degree Heating Week</i> (DHW)). ftp://ftp.star.nesdis.noaa.gov/pub/sod/mech/crw/data/5km/v3/nc/v1/composite/monthly/</p>	

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dalam analisa sebaran serta kondisi ekosistem terumbu karang di wilayah perairan Gugus Pulau Pari, DKI Jakarta. Menurut Azwar (2007), pendekatan deskriptif dapat digunakan untuk menggambarkan secara sistematis dan akurat fakta serta karakteristik populasi bidang tertentu dan pendekatan kuantitatif digunakan untuk menjelaskan fenomena dengan menggunakan data-data numerik yang diolah menggunakan metode statistika. Dalam penelitian ini, pendekatan deskriptif digunakan untuk menganalisa sebaran terumbu karang dengan menggunakan data citra satelit resolusi tinggi di Gugus Pulau Pari, DKI Jakarta. Sedangkan pendekatan kuantitatif digunakan dalam analisa kondisi ekosistem terumbu karang di perairan Gugus Pulau Pari berdasarkan data parameter lingkungan berdasarkan data penginderaan jauh.

3.4 Pengolahan Data Sebaran Ekosistem Terumbu Karang

3.4.1 Koreksi Radiometrik - Atmosferik

Pre-processing data merupakan tahap awal dalam mengolah data mentah Citra Sentinel-2 sehingga dapat digunakan dalam proses pengolahan data untuk ekstraksi informasi terumbu karang meliputi koreksi radiometrik dan atmosferik. Koreksi radiometrik dilakukan untuk mengonversi nilai dari radian pada setiap piksel data citra ke dalam nilai reflektan sedangkan koreksi atmosferik dilakukan untuk

menghilangkan efek atau pengaruh atmosfer terhadap kenampakan citra dan menghasilkan kenampakan citra yang menjad lebih jernih

Proses pengolahan *pre-processing* data mentah Citra Sentinel 2 level 1C yang diperlukan yaitu mulai dari kalibrasi radiometrik sampai dengan koreksi reflektansi, dan data dapat diolah lebih lanjut untuk proses ekstraksi informasi terumbu karang di gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. Pengolahan *pre-processing* data dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS 2.14 dengan bantuan *plug-in Semi Automatic Classification (SCP)* agar lebih mempercepat dan mempermudah proses kalibrasi radiometrik sampai dengan koreksi reflektan dalam satu rangkaian proses.

3.4.2 Komposit band dan Cropping Citra

Nilai panjang gelombang yang dapat melakukan penetrasi kedalam air pada satelit Sentinel-2 MSI berada pada nilai kisaran antara 490 nm – 665 nm (J. D. Hedley *et al.* 2016). Rentang nilai tersebut dalam data Citra Sentinel-2 berada pada kanal band dengan resolusi 10 m, dimana tepatnya pada kanal band 2,3,4, dan 8. Komposit RGB yang dapat digunakan dalam mode *true colour* pada Sentinel-2 MSI sama dengan Landsat-8 OLI, yaitu berada pada band RGB 4-3-2, dan komposit band yang digunakan dalam pengolahan. Citra komposit RGB dapat memperlihatkan gambaran yang jelas pada obyek obyek di perairan dangkal seperti terumbu karang, pasir dan lainnya. Kenampakan tersebut disebabkan kemampuan gelombang biru dan hijau memiliki penetrasi yang baik pada kolom air.

Cropping atau pemotongan *image* citra dalam penelitian ini dilakukan untuk memfokuskan area untuk identifikasi di lokasi kajian yaitu gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta serta menyederhanakan ukuran data penyimpanan Menurut SPBN Pufatja (2015), pemotongan citra (*Cropping*)

diperlukan untuk membatasi daerah pemetaan atau penelitian sehingga memudahkan analisis citra dalam komputer. Selain itu pemotongan citra akan mengurangi kapasitas memori citra dan selanjutnya akan mempercepat pengolahan citra tersebut..

3.4.3 Perhitungan algoritma lyzenga

Formulasi perhitungan algoritma lyzenga pada dasarnya dilakukan untuk mengoreksi kenampakkan objek dibawah kolom air, diawali dengan pembuatan training region pada citra yang sudah dikomposit *true colour* , yaitu dengan cara mengambil beberapa area dengan warna reflektan yang homogen dalam satu *regionnya* serta beberapa lainnya berbeda objek saja namun tetap dalam satu warna yang homogen. Hasil dari training region tersebut selanjutnya menghasilkan nilai *Means Summary Report* yang digunakan dalam perhitungan k_i/k_j . Perhitungan algoritma pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua pasang band Citra Sentinel 2 dengan resolusi spasial 10 m yaitu pasangan band 2,3 dan pasangan band 3,8.

Formulasi lyzenga yang dilakukan dengan menggunakan data Citra Sentinel-2 sedikit berbeda dengan penggunaan formulasi lyzenga pada citra Landsat-8, dimana nilai koefisien k_i/k_j pada landsat-8 menggunakan gabungan antara tiga pasangan *band* dengan resolusi 30 m, diantaranya pasangan *band* 1,2 ; *band* 2,3 dan *band* 3,4.

3.4.4 Klasifikasi Citra

Output dari hasil perhitungan algoritma Lyzenga kemudan dapat diklasifikasikan berdasarkan objek kelasnya. Menurut Suwargana (2014), berdasarkan ekstraksi informasi dengan menggunakan algoritma lyzenga, setiap piksel akan terkonversi menjadi indeks tipe dasar perairan yang terbebas dari pengaruh kedalaman. Nilai indeks piksel dari citra yang telah ditransformasikan dari penurunan algoritma

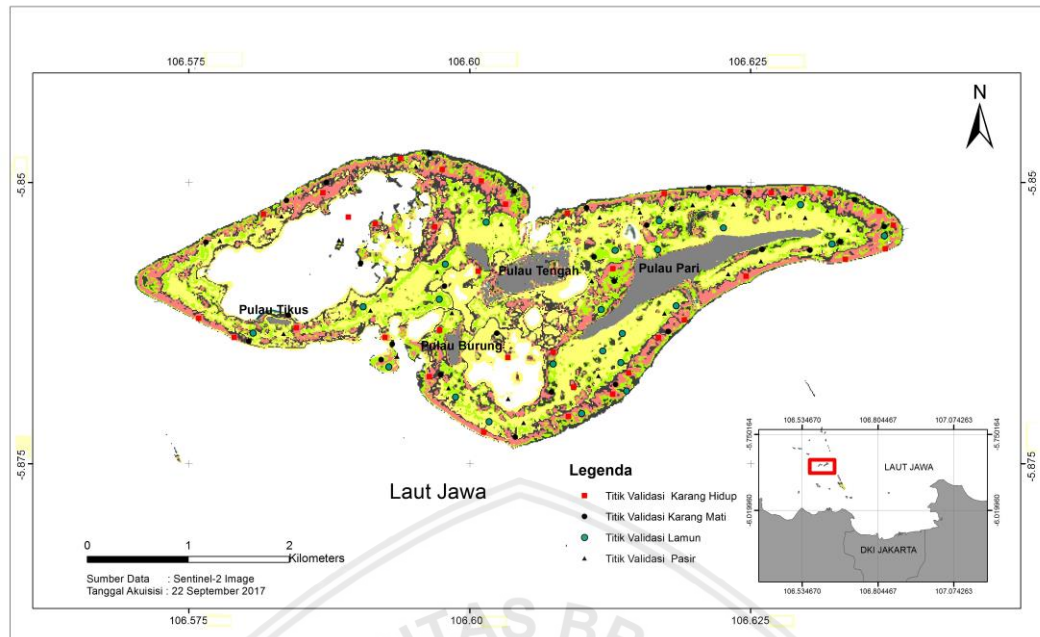
Lyzenga dapat menunjukkan identifikasi kelas-kelas obyek perairan dangkal. Kunci obyek perairan dangkal berdasarkan Kerjasama COREMAP Puslitbang Oseanologi LIPI dengan Pusbangja LAPAN, 2001. Obyek interpretasinya adalah : Warna ungu muda sampai biru adalah laut, Warna *cyan* ke hijau muda kekeruhan jika menyebar dan batasnya tegas dan warna hijau kekuning-kuningan dengan batas tidak tegas adalah karang , warna hijau dengan warna kekuning-kuningan adalah karang dan pasir, Warna merah tegas ngeblok adalah pasir. Warna hijau kebiru-biruan tidak tegas samar bercak-bercak adalah lamun.

3.4.5 Uji Nilai Digital

Pengujian nilai digital dalam penelitian ini untuk membuktikan bahwa hasil dari setiap klasifikasi dari data citra tahun 2017 terhadap tahun 2016 saling terkait berdasarkan nilai digitalnya, artinya, dari setiap klasifikasi data citra yang mengalami perubahan dari data satu dengan data yang lain dapat dideteksi dilihat dari perubahan nilai digitalnya. Begitu pula dengan klasifikasi yang tidak mengalami perubahan, maka nilai digital dari hasil klasifikasi pada data citra satu dengan lainnya juga tidak berubah. Nilai digital diambil sejumlah 10 titik dari setiap kategori kelas hasil klasifikasi sebaran ekosistem terumbu karang tahun 2016 dan tahun 2017 berdasarkan Citra Sentinel-2 karang di perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta.

3.5 *Ground Check* (Survei Lapangan)

Proses *ground check* atau survei lapangan dilakukan dengan mengambil titik dari setiap kelas dari hasil deteksi terumbu karang yang sudah dilakukan sebelumnya. Titik survei yang dibuat berjumlah 30 titik pada setiap kelas dimana penentuan titik dilakukan dengan cara proporsional dan *purposive random sampling*. Kelas yang digunakan dalam proses deteksi terumbu karang terbagi kedalam 4 (empat) kelas, yaitu kelas karang hidup, kelas karang mati atau patahan



Gambar 7. Titik Validasi *Ground Check* Peta Karang di Gugus Pulau Pari

Hasil dari survei lapangan (*ground check*) dari metode *stop and go* ini kemudian dijadikan sebagai data pembandingan dengan data hasil dari pengolahan citra satelit Sentinel 2 yang sudah dilakukan untuk deteksi ekosistem terumbu karang di gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. Nilai hasil perbandingan kedua data tersebut nantinya akan menjadi acuan tingkat akurasi peta sebaran terumbu karang yang sudah dibuat sebelum proses suvey lapangan.

Sebaran terumbu karang didapatkan berdasarkan hasil transformasi algoritma lyzenga baik dari Citra Sentinel-2 yang sudah diinterpretasi dan terklasifikasi sesuai dengan reflektansinya, kemudian dilakukan uji akurasi untuk mengetahui ketelitian data citra terhadap data validasi yang dilakukan di lapangan. Hasil klasifikasi digunakan dalam uji akurasi untuk mendapatkan hasil ketelitian tertentu sehingga hasil klasifikasi dapat diterima. Menurut PERKA Badan Informasi Geografis (2014), dalam melakukan pengujian hasil interpretasi, semua sampel dari populasi kelas dilakukan pengujian terhadap data lapangan. Pengujian tersebut dilakukan dengan menggunakan *error matrix* atau *confussion matrix*,

artinya pengujian dilakukan terhadap sampel yang mewakili objek tertentu serta pada koordinat tertentu yang sama di lapangan. Menurut (PERKA Badan Informasi Geospasial, 2014), nilai minimal kesalahan interpretasi hasil peta yaitu sebesar 30%, yang artinya nilai akurasi minimal dari peta yaitu 70 %.

3.6 Analisa Kondisi Ekosistem Terumbu karang Berdasarkan *Heat Stress Level*

Menurut INCOIS (2011), peringatan dini terhadap ancaman pada ekosistem terumbu karang perlu dan informasi tersebut dapat diekstraksi melalui data klimatologi baik dari NOAA maupun AVHRR, dan ancaman disini merupakan ancaman yang bersumber dari *stress* lingkungan khususnya adalah terkait suhu (*heat stress*).

Data klimatologi yang berbasis data penginderaan jauh yang dapat diekstraksi dan dapat menghasilkan informasi awal dalam deteksi dini terhadap ekosistem terumbu karang di perairan Gugus Pulau Pari meliputi *Degree Heating Week* dan *Hotspot*. Pemantauan baik antara *Hotspot* dan *bleaching* dimulai untuk menentukan sejauh mana dampak dari stres suhu berskala besar dan apakah tingkat perubahan iklim saat ini berada dalam batas kemampuan terumbu karang untuk menyesuaikan dengan kondisi tersebut.

Data *Degree Heating Week* maupun data *Hotspot* didapat dari *Coral Reef Watch* satelit NOAA dengan sumber data yang sama dengan data rata-rata suhu permukaan laut dan anomali suhu permukaan laut, yaitu data bulanan dengan resolusi 5 km. Analisa kondisi ekosistem terumbu karang berdasarkan *heat stress* dalam penelitian ini menggunakan data bulanan 5 km yang bersumber dari NOAA selama tahun 2013 hingga 2018, diantaranya data Rata-rata suhu permukaan laut, anomali suhu permukaan laut, *Degree Heating Weeks* (DHW), dan *Hotspot*. Menurut Liu *et.al* (2014), berdasarkan nilai *Degree Heating Weeks* (DHW) dan *Hotspot* dapat dihubungkan dan menghasilkan beberapa level *stress* pada

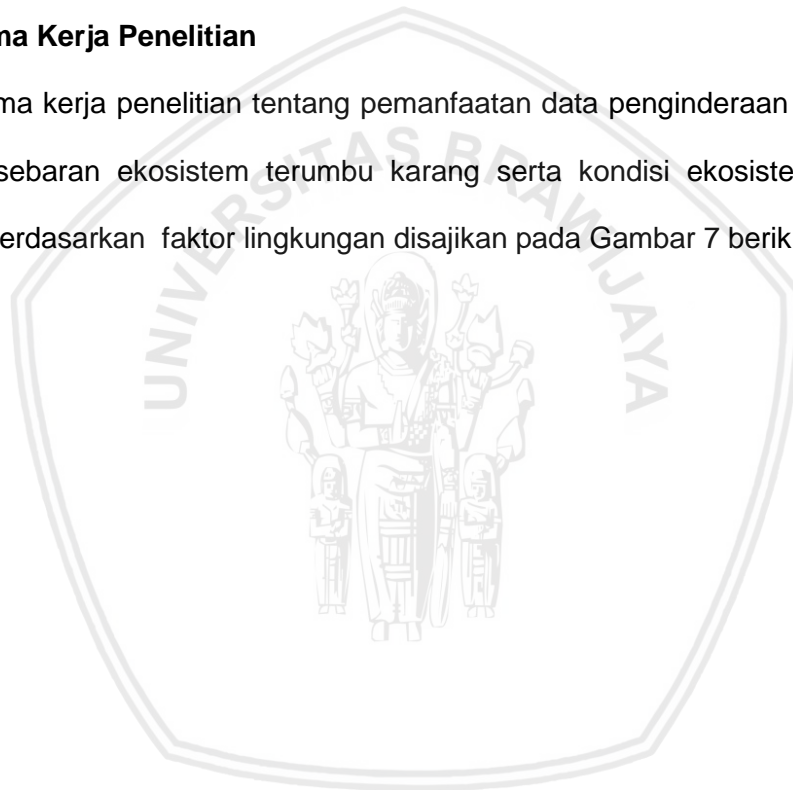
ekosistem terumbu karang. Tingkat/level *thermal stress* pada terumbu karang berdasarkan data DHW dan *Hotspot* tersaji pada Tabel 7 berikut ini :

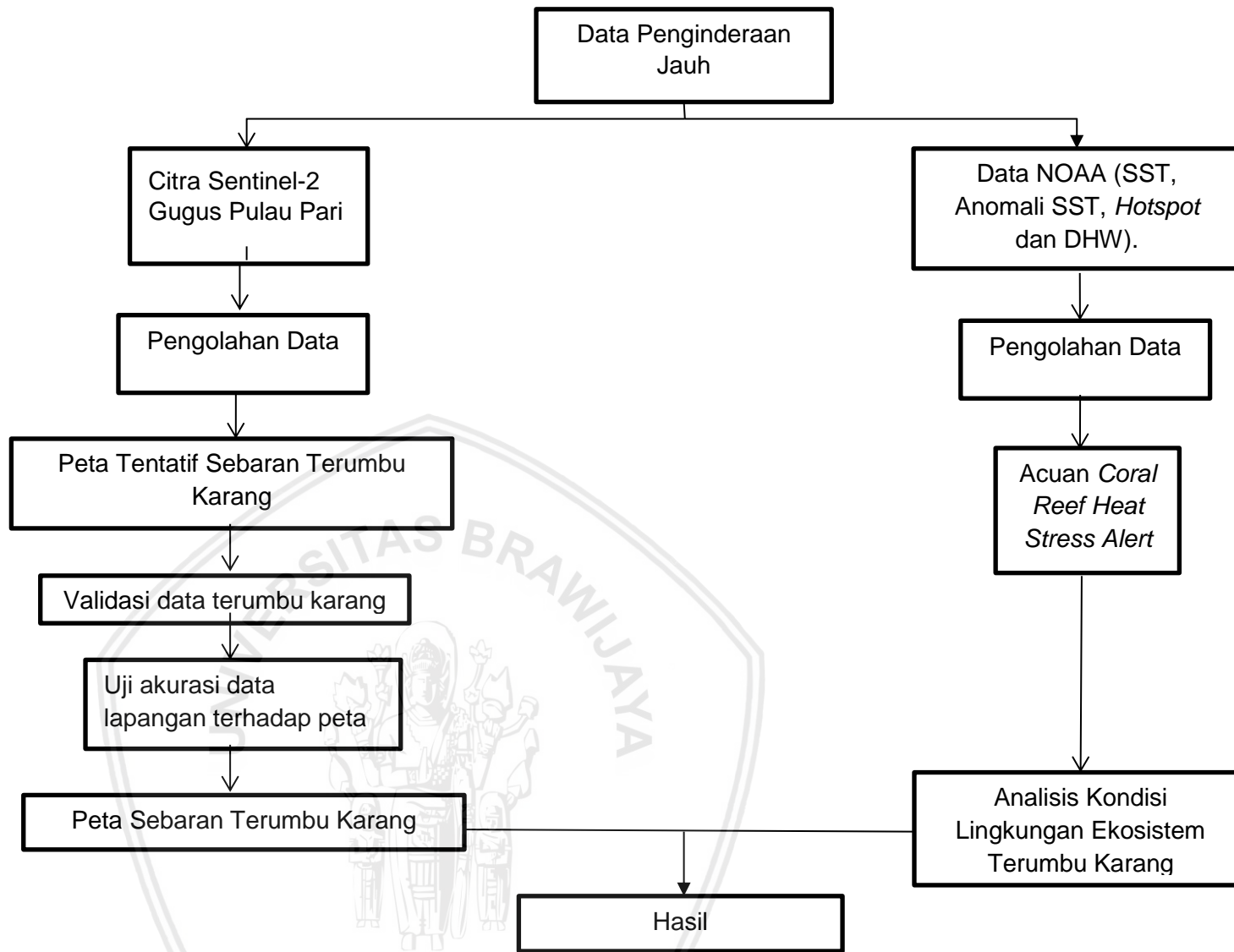
Tabel 7. Tingkat *Thermal Stress* Berdasarkan Data DHW dan *Hotspot* (Liu *et.al*, 2014).

Level Stres	Keterangan	Potensi Intensitas Bleaching
Tidak Ada Stress	$Hotspot \leq 0$	No Bleaching
Bleaching Watch	$0 < Hotspot < 1$	
Bleaching Warning	$1 \leq Hotspot$ and $0 < DHW < 4$	Possible Bleaching
Bleaching Alert Level-1	$1 \leq Hotspot$ and $4 \leq DHW < 8$	Bleaching Likely
Bleaching Alert Level-2	$1 \leq Hotspot$ and $8 \leq DHW$	Mortality Likely

3.7 Skema Kerja Penelitian

Skema kerja penelitian tentang pemanfaatan data penginderaan jauh dalam deteksi sebaran ekosistem terumbu karang serta kondisi ekosistem terumbu karang berdasarkan faktor lingkungan disajikan pada Gambar 7 berikut :





4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Kondisi Lapang

Pulau Pari secara geografis terletak pada koordinat $5^{\circ} 50' 20'' - 5^{\circ} 50' 25''$ LS dan $106^{\circ} 34' 30'' - 106^{\circ} 38' 20''$ BT, dan secara administratif berada di wilayah Kelurahan Pulau Pari, Kecamatan Kepulauan Seribu Selatan, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu. Secara kependudukan, di Pulau Pari terdapat 1 RW dan 4 RT dengan jumlah penduduk 265 KK. Kondisi perairan Pulau Pari memiliki pantai berpasir putih dengan topografi landai dan bervegetasi mangrove pada bagian barat dan utara pulau. Secara umum, penggunaan lahan di pulau ini diperuntukkan hanya untuk pemukiman, wisata bahari dan kawasan konservasi mangrove (ppk-kp3k.kkp, 2017).

Unit gugusan Kepulauan Pari terdiri atas 6 pulau kecil yaitu Pulau-pulau Pari, Burung, Kongsu Timur, Kongsu Tengah, Kongsu Barat, dan Tikus. Gugusan pulau - pulau ini menjadi satu kesatuan oleh adanya pertumbuhan terumbu karang. Dalam kesatuan kepulauan ini, terumbu karang membentuk lagun di tengahnya sehingga kepulauan ini dapat dikatakan sebagai Pulau Atol dalam bentuk mini (Asriningrum, 2004). Semua unit gugusan pulau Pari secara administrasi masuk dalam wilayah yang sama. Aksesibilitas dari Pulau Pari ke unit pulau gugusannya dapat menggunakan perahu motor ataupun perahu kayu dengan waktu 10 menit hingga 25 menit tergantung lokasi pulau yang dituju. Kondisi topografi di Pulau Tikus, Pulau Kongsu dan Pulau Burung berupa pulau dataran dengan ketinggian 0 – 2 mdpl dengan kelandaian antara 0 %-15%. Pulau di sekitar Pulau Pari tidak ditemukan adanya aktifitas penduduk, maupun kegiatan pengelolaan sumberdaya

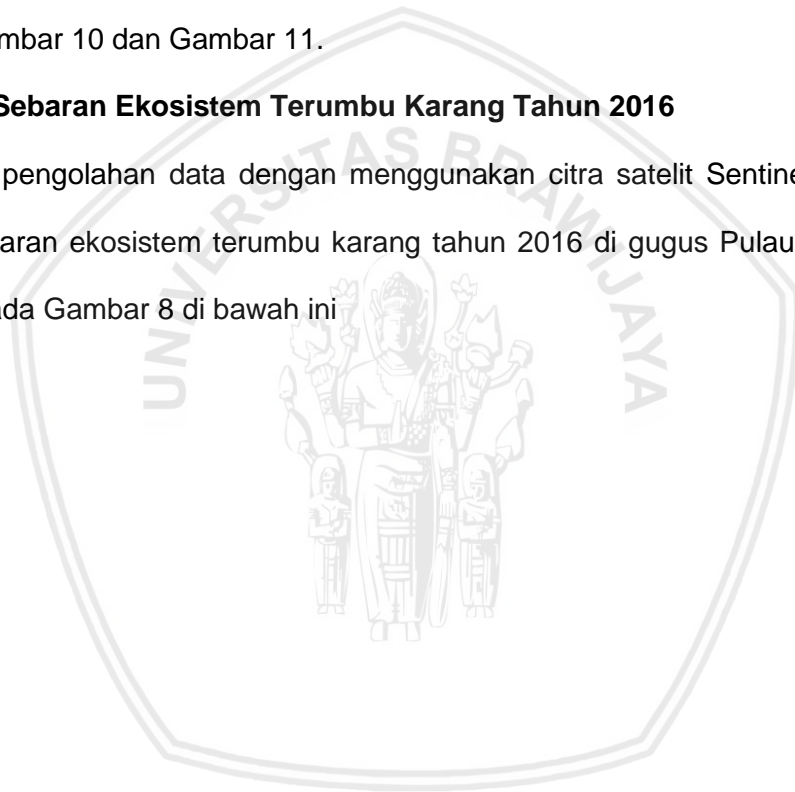
yang dilakukan, baik di Pulau Tilus, Pulau Kongsu dan Pulau Burung (ppk-kp3k.kkp, 2017).

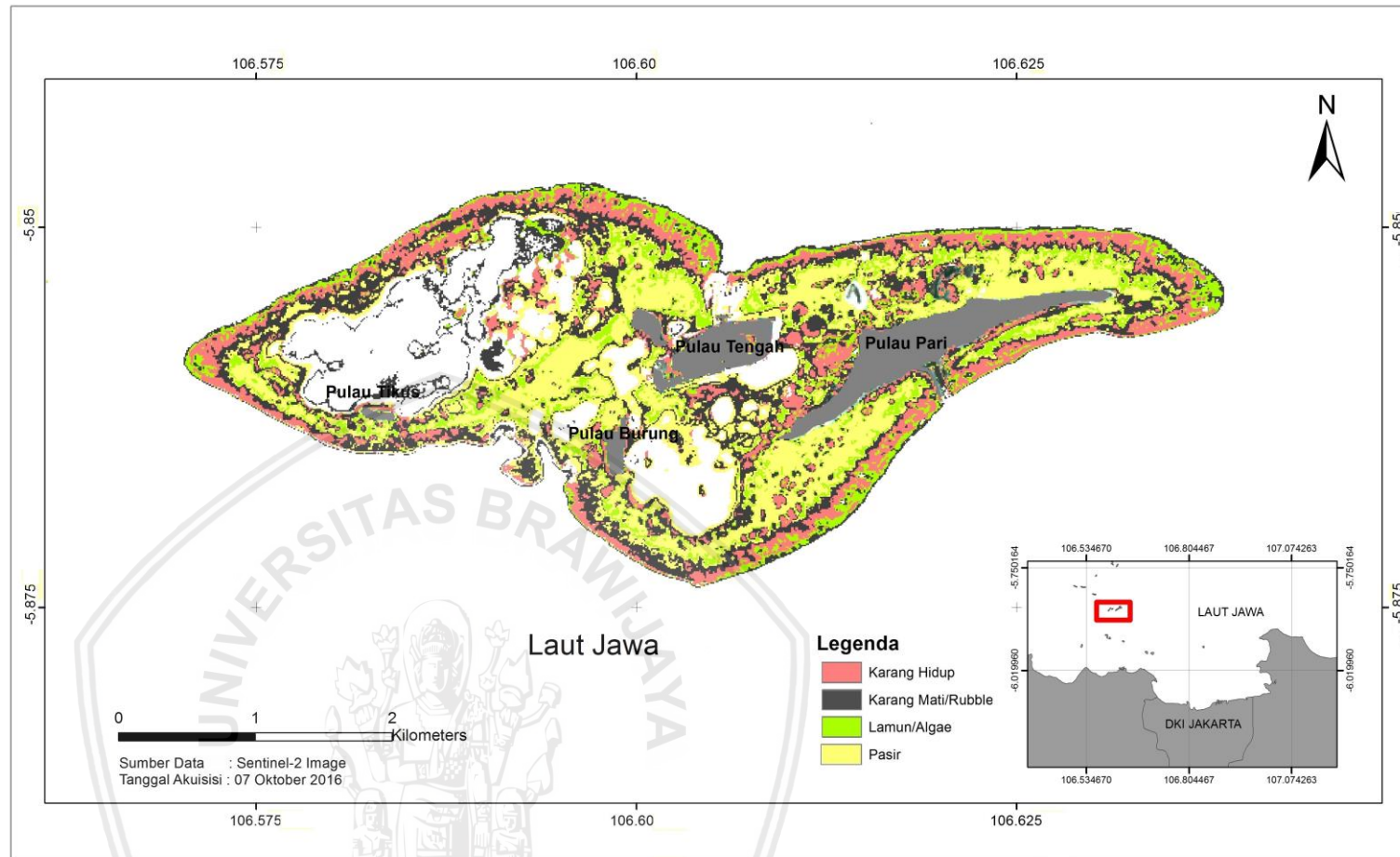
4.1.2 Hasil Peta Sebaran Ekosistem Terumbu Karang Tahun 2016 dan 2017

Pengolahan data citra satelit Sentinel-2 di gugus pulau pari dilakukan pada periode tahun 2016 dan 2017. Pengolahan data Citra Sentinel-2 menggunakan metode algoritma Lyzenga yang dikomparasi dari dua pasang band beresolusi 10 meter dan menghasilkan peta sebaran ekosistem terumbu karang yang tersaji pada Gambar 10 dan Gambar 11.

A. Peta Sebaran Ekosistem Terumbu Karang Tahun 2016

Hasil pengolahan data dengan menggunakan citra satelit Sentinel-2 berupa peta sebaran ekosistem terumbu karang tahun 2016 di gugus Pulau Pari dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini





Gambar 8. Peta Sebaran Ekosistem Terumbu Karang Gugus Pulau Pari Tahun 2016

Berdasarkan hasil peta sebaran ekosistem terumbu karang tahun 2016 diatas, dapat dilihat bahwa sebaran terumbu karang (merah muda) tersebar di sekeliling pulau, bukan hanya di pulau pari namun juga di perairan sekeliling pulau kecil lainnya. Warna kuning di peta mewakili kelas pasir, warna hijau mewakili kelas lamun dan algae serta warna coklat mewakili karang mati/ rubble.

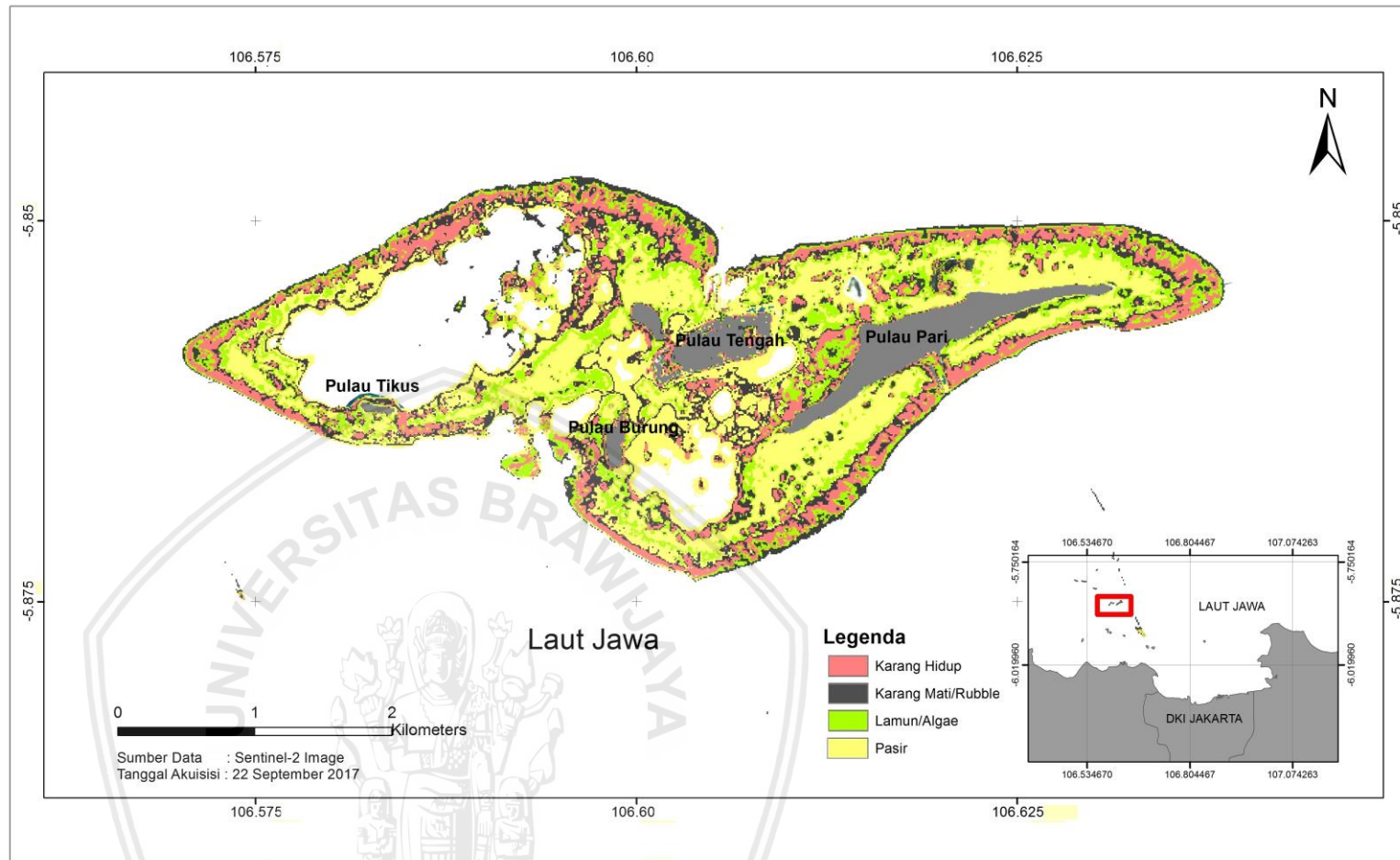
Hasil pengolahan berupa peta ekosistem perairan dangkal di gugus Pulau Pari menggunakan Citra Sentinel-2, selanjutnya dapat diketahui persentase sebaran maupun luasan dari setiap kelasnya. Tabel 8 di bawah ini merupakan hasil sebaran persentase serta luasan kelas ekosistem terumbu karang berdasarkan hasil pengolahan Citra Sentinel-2 tahun 2016 di gugus Pulau Pari.

Tabel 8. Sebaran Ekosistem Terumbu Karang 2016

No.	Kelas	Luasan (Ha)	Persentase (%)
1	Karang Hidup	160,68	19
2	Karang Mati	252,97	31
3	Lamun/ Algae	135,91	16
4	Pasir	283,42	34

B. Peta Sebaran Ekosistem Terumbu Karang Tahun 2017

Hasil pengolahan data citra satelit Sentinel-2 periode tahun 2017 yang diakuisisi pada 23 September 2017 menghasilkan prediksi sebaran ekosistem perairan dangkal, khususnya ekosistem terumbu karang pada perairan sekitar gugus Pulau Pari dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini :



Gambar 9. Peta Sebaran Ekosistem Terumbu Karang Gugus Pulau Pari Tahun 2017

Berdasarkan hasil peta sebaran ekosistem terumbu karang diatas, dapat dilihat bahwa sebaran terumbu karang (merah muda) tersebar di sekeliling pulau, bukan hanya di pulau pari namun juga di perairan sekeliling pulau kecil lainnya. Warna kuning di peta mewakili kelas pasir, warna hijau mewakili kelas lamun dan algae serta warna coklat mewakili karang mati/ rubble.

Hasil pengolahan berupa peta ekosistem perairan dangkal di gugus Pulau Pari menggunakan Citra Sentinel-2, selanjutnya dapat diketahui persentase sebaran maupun luasan dari setiap kelasnya. Tabel 9 di bawah ini merupakan hasil sebaran persentase serta luasan kelas ekosistem terumbu karang berdasarkan hasil pengolahan Citra Sentinel-2 tahun 2017 di gugus Pulau Pari.

Tabel 9. Sebaran Ekosistem Terumbu Karang 2017

No.	Kelas	Luasan (Ha)	Persentase (%)
1	Karang Hidup	157,09	19
2	Karang Mati	178,96	21
3	Lamun/ Algae	163,68	19
4	Pasir	346,93	41

C. Uji Akurasi Pengolahan Citra Sentinel-2

Uji akurasi berdasarkan ground check terhadap peta sebaran ekosistem perairan dangkal pada perairan gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta berdasarkan data Citra Sentinel-2 dilakukan menggunakan metode *stop and go*. Nilai validasi dari hasil survei lapang (*ground check*) diolah dengan menggunakan tabel *confussion matrix*, dimana tabel hasil uji akurasi peta sebaran ekosistem perairan dangkal di gugus Pulau Pari dapat dilihat pada Tabel 10 dibawah ini :

Tabel 10. Uji Akurasi Peta Sebaran Terumbu Karang di Gugus Pulau Pari

Kelas	Karang Hidup	Karang Mati	Lamun/ Algae	Pasir	Kelas Benar	Total	Error (%)	Ketelitian Produser (%)
Karang Hidup	21	5	1	2		29	27,59	72,41
Karang Mati	2	18	3	0		23	21,74	78,26
Lamun/Algae	1	4	15	2		22	31,82	68,16
Pasir	0	0	2	25		27	7,41	92,59
Kelas Benar					79			

Kelas	Karang Hidup	Karang Mati	Lamun/ Algae	Pasir	Kelas Benar	Total	Error (%)	Ketelitian Produser (%)
Total	24	27	21	29		101		
Error (%)	12,50	33,33	28,57	13,79				
Ketelitian Pengguna (%)	87,50	66,67	71,43	86,21				77,95

Akurasi data sebaran ekosistem perairan dangkal dengan menggunakan data Citra Sentinel-2 di Gugus Pulau Pari, Kabupaten Kepulauan Seribu, DKI Jakarta didapatkan sebesar 77,95 %. Berdasarkan hasil uji akurasi diatas, dapat dikatakan bahwa data sebaran ekosistem perairan dangkal di Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta dengan menggunakan data Citra Sentinel-2 dapat digunakan sebagai bahan untuk analisa lanjutan, karena menurut PERKA Badan Informasi Geospasial (2014) nilai keakuratan dari suatu citra dapat dikatakan baik apabila memiliki error matrix dibawah 30 %.

D. Uji Nilai Digital Hasil Pengolahan Sentinel-2

Analisis nilai digital dilakukan dengan menggunakan kedua peta sebaran karang berdasarkan Citra Sentinel-2, baik data tahun 2016 dan 2017. Uji nilai digital dilakukan untuk membuktikan bahwa klasifikasi antara tahun 2016 dan 2017 saling terkait , dan analisis nilai digital menggunakan citra asli dari data Sentinel-2. Analisis dimulai dengan mengambil 10 titik sampel dari setiap kategori kelas (kelas klasifikasi) yang tetap dari kedua dataset Sentinel-2 tahun 2016 dan 2017. Nilai digital rata-rata dari kelas tetap hasil klasifikasi menggunakan Citra Sentinel-2 dapat dilihat pada Tabel 11 berikut :

Tabel 11. Nilai Digital Kelas Tetap

Kelas	Band 2		Band 3		Band 4		Band 8	
	DN 2016	DN 2017	DN 2016	DN 2017	DN 2016	DN 2017	DN 2016	DN 2017
KH	0,0942	0,1601	0,0972	0,1493	0,0812	0,1018	0,0492	0,0214

Kelas	Band 2		Band 3		Band 4		Band 8	
	DN 2016	DN 2017	DN 2016	DN 2017	DN 2016	DN 2017	DN 2016	DN 2017
KM	0,1053	0,1671	0,1100	0,1569	0,0885	0,1040	0,0505	0,0208
LM/AG	0,1180	0,1801	0,1275	0,1739	0,1012	0,1192	0,0512	0,0211
Psr	0,1399	0,2029	0,1572	0,2081	0,1322	0,1598	0,0524	0,0354

*Keterangan : KH (Karang Hidup) ; KM (Karang Mati/Rubble) ; LM/AG (Lamun/Algae) ; Psr (Pasir).

Nilai digital dari Tabel 11 di atas merupakan rata-rata nilai digital dari setiap kelas yang tetap atau tidak berbeda nyata dari data citra tahun 2016 dan 2017 dari semua kanal dengan resolusi 10 meter dari Citra Sentinel-2. Nilai digital citra tahun 2016 dan 2017 walaupun dari kelas yang tidak berbeda nyata atau sama, namun bukan berarti memiliki nilai DN yang sama. Hal tersebut karena setiap data citra dari waktu yang berbeda bersifat unik, dimana memiliki karakteristik pantulan energi elektromagnetik atau nilai *solar irradiance* yang berbeda.

4.1.3 Data Parameter *Thermal stress*

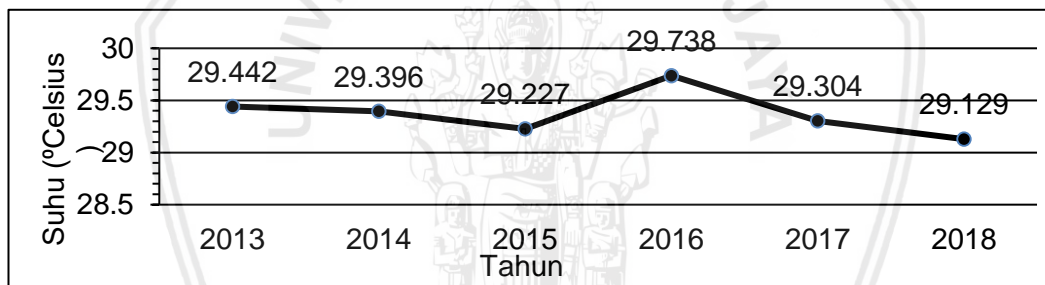
Data parameter hidro-oseanografi berupa data *thermal stress* didapat dari *coral reef watch* NOAA yang berupa data sekunder yang berisi data raster berupa parameter suhu bulanan beresolusi 5 km yang terdiri dari data suhu permukaan laut, anomali suhu permukaan laut, *degree heating week* (DHW) dan *hotspot*, yang selanjutnya semua data tersebut diekstrak dan diolah sehingga menghasilkan angka di wilayah perairan gugus Pulau Pari.

A. Data Rata-rata Suhu Permukaan Air Laut

Tabel 12 di bawah ini menunjukkan nilai suhu permukaan laut rata-rata di perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta berdasarkan data *Coral Reef Watch* dari satelit NOAA dengan resolusi 5 km dengan periode mulai pertengahan tahun 2013 hingga tahun 2018 sekarang.

Tabel 12. Data Suhu Permukaan Laut Rata - Rata Tahun 2013-2018 di Perairan Gugus Pulau Pari

No	Bulan	Data Rata-Rata Suhu Permukaan Air Laut (°C)					
		2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	Januari	No data	28,632	28,903	29,655	29,014	28,917
2	Februari	No data	28,192	28,916	29,192	28,648	28,562
3	Maret	No data	29,202	29,496	29,788	29,362	29,245
4	April	No data	29,162	30,001	30,183	29,586	29,79
5	Mei	No data	30,378	29,934	30,276	29,789	No data
6	Juni	No data	30,228	29,51	30,085	29,503	No data
7	Juli	29,379	29,453	29,007	29,725	29,043	No data
8	Agustus	29,213	29,367	28,64	29,601	28,774	No data
9	September	29,077	28,806	28,25	29,759	28,964	No data
10	Oktober	29,519	29,313	28,701	29,365	29,836	No data
11	November	29,682	30,112	29,708	29,824	30,06	No data
12	Desember	29,783	29,908	29,658	29,398	29,064	No data
Rata – rata SST		29,442	29,396	29,227	29,737	29,303	29,128



Gambar 10. Rata-rata Tahunan Suhu Permukaan Air Laut

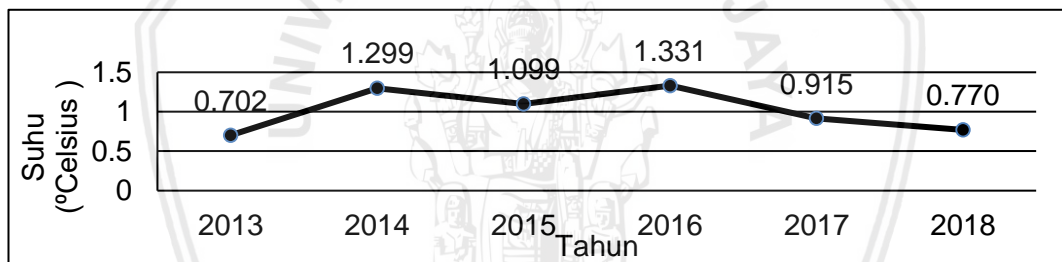
Nilai rata-rata suhu permukaan laut secara bulanan untuk resolusi 5 km mulai tersedia dibulan Juli 2013. Rata-rata dari nilai suhu permukaan laut di wilayah perairan gugus Pulau Pari cenderung stabil berada pada kisaran 29° Celsius mulai dari 2013 sampai saat ini, dan nilai rata – rata suhu permukaan laut tertinggi pada tahun 2016 dan terendah pada tahun 2018.

B. Data Rata-rata Anomali Suhu Permukaan Laut

Tabel 13 di bawah ini menunjukkan nilai anomali suhu permukaan laut rata-rata bulanan di perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta berdasarkan data *Coral Reef Watch* dari satelit NOAA dengan resolusi 5 km dengan periode mulai pertengahan tahun 2013 hingga tahun 2018 sekarang.

Tabel 13. Data Anomali Suhu Permukaan Laut Rata - Rata Tahun 2013-2018 di Perairan Gugus Pulau Pari

No	Bulan	Data Anomali Suhu Permukaan Air Laut (°C)					
		2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	Januari	No data	1,172	1,090	1,734	1,152	1,044
2	Februari	No data	0,481	1,218	1,519	0,739	0,857
3	Maret	No data	0,992	1,471	1,589	1,170	0,769
4	April	No data	0,885	1,431	1,302	0,914	1,263
5	Mei	No data	1,444	1,181	1,446	0,675	0,691
6	Juni	No data	1,821	0,808	1,264	0,701	0,744
7	Juli	0,621	1,208	1,318	1,372	0,499	0,063
8	Agustus	0,702	1,217	0,839	1,296	0,715	0,042
9	September	0,576	0,881	0,653	1,482	0,945	0,265
10	Oktober	0,650	1,816	0,075	0,838	1,301	1,121
11	November	0,544	1,551	1,362	1,115	1,287	1,001
12	Desember	1,118	2,116	1,742	1,015	0,882	1,374
Rata – rata SST-a		0,702	1,298	1,099	1,331	0,915	0,77



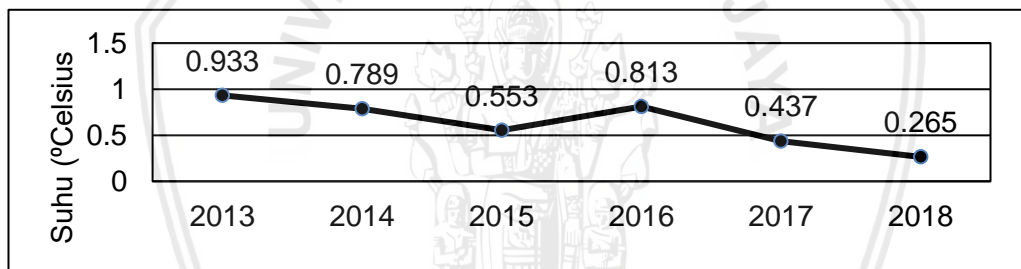
Gambar 11. Rata - Rata Tahunan Anomali Suhu Permukaan Air Laut
 Nilai rata-rata anomali suhu permukaan laut secara tahunan di wilayah perairan gugus Pulau Pari mulai dari pertengahan 2013 sampai dengan tahun ini berada pada anomali positif dengan kisaran antara 0,702° Celsius hingga 1,331. Rata – rata nilai anomali suhu tertinggi terjadi pada tahun 2016 dan nilai terendah pada tahun 2013.

C. Data Hotspot

Tabel 14 di bawah ini menunjukkan nilai *Hotspot* maksimal bulanan di perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta berdasarkan data *Coral Reef Watch* dari satelit NOAA dengan resolusi 5 km dengan periode mulai pertengahan tahun 2013 hingga tahun 2018 sekarang.

Tabel 14. Data *Hotspot* Tahun 2013-2018 di Gugus Pulau Pari

No	Bulan	Data <i>Hotspot</i> (°C)					
		2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	Januari	No data	0,261	0,138	0,732	0,229	0,157
2	Februari	No data	0,577	0,11	0,405	-0,224	-0,21
3	Maret	No data	0,625	1,03	0,905	0,539	0,295
4	April	0,932	0,629	1,202	1,154	0,832	1,123
5	Mei	2,044	1,428	1,152	1,411	0,641	0,66
6	Juni	0,794	1,736	0,622	1,154	0,612	0,596
7	Juli	0,839	0,641	0,601	0,772	-0,058	-0,39
8	Agustus	0,506	0,415	0,03	0,489	-0,16	-0,78
9	September	0,081	0,085	-0,02	0,732	0,21	-0,52
10	Oktober	1,38	1,388	-0,284	0,407	1,014	0,801
11	November	0,701	1,292	0,952	0,947	1,152	0,784
12	Desember	1,119	1,544	1,101	0,651	0,458	0,665
Rata – rata <i>Hotspot</i>		0,933	0,788	0,552	0,813	0,4371	0,265



Gambar 12. Rata - rata tahunan *Hotspot*

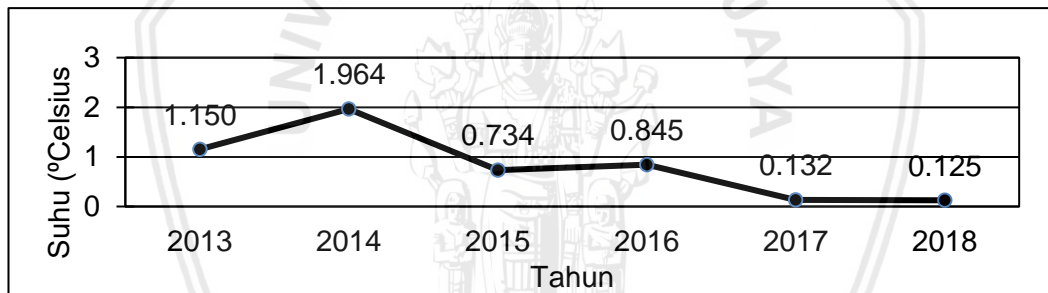
Nilai rata-rata *Hotspot* secara tahunan di wilayah perairan gugus Pulau Pari mulai dari pertengahan 2013 sampai dengan tahun ini berada pada kisaran antara 0,304° Celsius hingga 0,933. Rata – rata nilai *Hotspot* tertinggi terjadi pada tahun 2013 dan nilai terendah pada tahun 2017.

D. Data *Degree Heating Week* (DHW)

Tabel 15 di bawah ini menunjukkan nilai *Degree Heating Week* maksimal bulanan di perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta berdasarkan data *Coral Reefs Watch* dari satelit NOAA dengan resolusi 5 km dengan periode mulai pertengahan tahun 2013 hingga tahun 2018 sekarang.

Tabel 15. Data *Degree Heating Week* Tahun 2013-2018 di Perairan Gugus Pulau Pari

No	Bulan	Data <i>Degree Heating Week</i> (°C)					
		2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	Januari	No data	0,605	2,035	0,245	0	0,704
2	Februari	No data	0,248	1,489	0,245	0	0,151
3	Maret	No data	0,248	0,163	0,179	0	0,160
4	April	No data	0	0,775	0,649	0	0
5	Mei	No data	2,973	1,331	2,216	0	0,161
6	Juni	No data	5,206	1,331	2,504	0	0,161
7	Juli	2,969	5,206	1,041	2,504	0	0,161
8	Agustus	2,614	4,633	0,381	1,306	0	0
9	September	0	0,483	0	0,294	0	0
10	Oktober	0,357	0,391	0	0	0,175	0
11	November	0,357	1,543	0,014	0	0,704	0
12	Desember	0,605	2,035	0,245	0	0,704	0
Rata – rata DHW		1,15	1,964	0,733	0,845	0,132	0,1248



Gambar 13. Rata - rata tahunan *Degree Heating Week* (DHW)

Nilai rata-rata DHW secara tahunan berdasarkan data bulanan di wilayah perairan gugus Pulau Pari mulai dari pertengahan 2013 sampai dengan tahun ini berada pada kisaran antara 0,132° Celsius hingga 1,964° Celsius . Rata – rata nilai DHW tertinggi terjadi pada tahun 2014 dan nilai terendah pada tahun 2017.

4.1.4 Status dan Kondisi Terumbu Karang berdasarkan *Degree Heating Weeks* (DHW) dan *Hotspot*

Berdasarkan penelitian Liu *et.al* (2014), status ekosistem terumbu karang akibat *heat stress* dikategorikan kedalam kategori potensi terjadinya *bleaching* pada ekosistem karang. Potensi terhadap terjadinya pemutihan karang/*bleaching* dibagi menjadi empat kategori, antara lain “*no bleaching*”, “*possible bleaching*”,

“bleaching likely” dan “mortality likely”. Kategori “no bleaching”, merupakan hasil dari kondisi status “no stress” dan “watch”, kategori “possible bleaching” merupakan hasil dari status “warning”, kategori “bleaching lkely” merupakan hasil dari status “alert level-1” dan status “alert level-2 dikategorikan kedalam “mortality likely”. Tabel 16 di bawah ini menjelaskan secara rinci status dan kondisi ekosistem terumbu karang berdasarkan data *hotspot* dan *degree heating week* (DHW) di perairan gugus Pulau Pari, DKI Jakarta.

Tabel 16. Status dan Kondisi Ekosistem Terumbu Karang Berdasarkan Heat Stress di gugus Pulau Pari

Tahun	Bulan	HS	DHW	Status	Potensi Pemutihan
2013	Juli	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Agustus	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	September	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching
	Oktober	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
	November	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Desember	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
2014	Januari	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Februari	HS<0	0<DHW<4	No stress	No Bleaching
	Maret	0<HS<1	0<DHW<4	No stress	No Bleaching
	April	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching
	Mei	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
	Juni	HS>1	4<DHW<8	Alert Level-1	Bleaching Likely
	Juli	0<HS<1	4<DHW<8	Alert Level-1	Bleaching Likely
	Agustus	0<HS<1	4<DHW<8	Alert Level-1	Bleaching Likely
	September	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Oktober	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
	November	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
	Desember	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
2015	Januari	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Februari	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Maret	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
	April	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
	Mei	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
	Juni	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Juli	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Agustus	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	September	HS<0	DHW=0	No stress	No Bleaching
	Oktober	HS<0	DHW=0	No stress	No Bleaching
	November	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching

Tahun	Bulan	HS	DHW	Status	Potensi Pemutihan
2016	Desember	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
	Januari	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Februari	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Maret	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	April	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
	Mei	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
	Juni	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
	Juli	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Agustus	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	September	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Oktober	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching
	November	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching
2017	Desember	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching
	Januari	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching
	Februari	HS<0	DHW=0	No strees	No Bleaching
	Maret	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching
	April	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching
	Mei	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching
	Juni	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching
	Juli	HS<0	DHW=0	No strees	No Bleaching
	Agustus	HS<0	DHW=0	No strees	No Bleaching
	September	HS<0	DHW=0	No strees	No Bleaching
	Oktober	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	November	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
2018	Desember	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Januari	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Februari	HS<0	0<DHW<4	No strees	No Bleaching
	Maret	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	April	HS>1	0<DHW<4	Warning	Possible Bleaching
	Mei	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Juni	0<HS<1	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Juli	HS<0	0<DHW<4	Watch	No Bleaching
	Agustus	HS<0	DHW=0	No strees	No Bleaching
	September	HS<0	DHW=0	No strees	No Bleaching
	Oktober	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching
	November	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching
Desember	0<HS<1	DHW=0	Watch	No Bleaching	



4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisa Sebaran Terumbu Karang tahun 2016 dan 2017

Pengolahan data sebaran ekosistem terumbu karang berdasarkan citra Sentinel-2 di perairan Gugus Pulau Pari setelah validasi berupa *ground check* menghasilkan nilai akurasi total sebesar 78%. Akurasi tertinggi yang didapat adalah kelas pasir yaitu sebesar 92,5%, kemudian karang mati 78% , karang hidup 72%, dan yang terakhir yaitu kelas lamun sebesar 68%. Akurasi pasir paling tinggi karena spectrum warna terang pasir pada citra palng mudah untuk dibedakan oleh perangkat lunak karena karakteristik nilai spektral pasir memiliki rentang yang cukup jauh dengan objek lainnya dan juga pasir merupakan objek yang sebagian besar tidak berada pada kolom perairan. Nilai akurasi karang mati dan karang hidup berada pada rentang 70%-an dan pada pengolahan di peraran gugus Pulau Pari lebih besar nilai akurasi karang mati. Objek berupa karang baik karang mati maupun karang hdup merupakan objek yang berada di kolom peraran dan keduanya merupaan objek dengan nilai spektral yang mirip dan cenderung hanya memliki perbedaan yang tipis sehngga keduanya lebih sulit untuk dibedakan oleh perangkat lunak. Nilai akurasi kelas lamun yang berada dibawah 70% bisa dikarenakan lamun memiliki karateristik spektral warna yang lebih gelap dan juga lamun bukan merupaan objek *solid* yang membuat pantulan spektral menjad lebih lemah.

Ekosistem terumbu karang tersebar secara merata di sekeliling gugus Pulau Pari, dengan kedalaman dangkal berkisar antara 1 meter hingga 3 meter. Sebaran terumbu karang baik tahun 2016 maupun tahun 2017 memiliki sebaran yang identik, dimana sebaran kelas karang hidup tersebar di sekeliling pulau secara merata, namun sebaran tahun 2016 memiliki sebaran lebih luas dibandingkan sebaran tahun 2017.

Sebaran karang hidup, karang mati/ *rubble*, lamun/*algae* maupun pasir dalam satu kesatuan ekosistem perairan dangkal di wilayah gugus Pulau Pari pada tahun 2016 dan 2017 yang didapat berdasarkan hasil pengolahan data Citra Sentinel-2 memiliki tren distribusi yang beragam. Sebaran dengan tren penurunan distribusi pada ekosistem perairan dangkal gugus Pulau Pari yaitu pada kelas karang hidup dan karang mati, dengan luas area seluas 160,68 hektar dan pada tahun 2017 turun menjadi 157,09 hektar. Distribusi sebaran karang mati pada tahun 2016 seluas 252,97 hektar dan turun pada tahun 2017 dengan luas area seluas 178,96 hektar.

Distribusi kelas lamun/*algae* dan kelas pasir memiliki sebaran yang menunjukkan tren positif atau mengalami penambahan persentase maupun luasan dari tahun 2016 ke tahun 2017. Distribusi kelas lamun/*algae* pada tahun 2016 dengan luas area seluas 135,91 hektar naik menjadi pada tahun 2017 dengan luas area 163,68 hektar. Kelas pasir memiliki luas area seluas 283,42 hektar pada tahun 2016 dan naik pada tahun 2017 dengan luas menjadi 346,93 hektar di gugus Pulau Pari.

Sebaran ekosistem terumbu karang jika dilihat berdasarkan luasan di wilayah gugus Pulau Pari berdasarkan hasil pengolahan data Citra Sentinel-2 tahun 2016 dan tahun 2017, dapat dilihat dari setiap kelas yang berubah akah mempengaruhi kelas lainnya, yang artinya dimana terdapat kelas yang mengalami perubahan, akan mengubah ke semua kelas yang ada. Kelas yang mengalami penurunan di perairan Pulau Pari pada tahun 2016 ke 2017 yaitu kelas karang hidup dan karang mati. Penurunan luasan karang hidup dan karang mati terjadi karena pada selang waktu tersebut terjadi pula penambahan luasan pasir dan *algae*. Penambahan luasan kelas pasir dan kelas lamun/*algae* bisa terjadi karena yang pertama yaitu karang mati banyak ditumbuhi *algae* sehingga sebaran kelas *algae* bertambah, kemudian karang mati yang berupa *rubble* atau patahan karang berukuran kecil

terbawa arus dan terdegradasi menjadi ukuran yang lebih kecil sehingga terklasifikasikan menjadi pasir.

Menurut penelitian Arief (2012), menyatakan bahwa dengan menggunakan fungsi *Depth Invariant Index* (Lyzenga- 1981) berdasarkan citra SPOT-4 yang diolah menjadi citra (citra satu *band*), kemudian citra tersebut dianalisis dan diklasikan dengan menggunakan metoda *thresholding* serta dilakukan perhitungan luasannya menghasilkan 5 kelas yaitu : air (perairan dengan kedalaman lebih dari 6 meter) seluas 129,08 ha, pasir yang sebenarnya karang yang muncul di permukaan laut seluas 15,2 ha, karang yang bercampur pasir seluas 230,06 ha, karang bercampur dengan pasir dan lamun seluas 220,68 ha dan karang yang termasuk jenis karang penghalang (*barrier reef*) seluas 245,24 ha. Menurut penelitian Anggoro (2015), menyatakan dengan menggunakan citra Worldview-2 serta metode segmentasi dalam klasifikasi diperoleh luas area dari 9 kelas habitat bentik yaitu: kelas karang hidup, 148,4 Ha (13%); karang hidup + *rubble*, 52,5 Ha (5%); lamun jarang + pasir, 132,2 Ha (11%); lamun padat, 57,4 Ha (5%); pasir + *rubble*, 145 Ha (13%); pasir, 389 Ha (34%); pasir + lamun jarang, 96.3 Ha (8%); *pavement/ rock*, 60,5 Ha (5%); dan *rubble*, 78,1 Ha (7%).

Hasil penelitian sebelumnya dari Arief (2012), menggunakan citra SPOT-4 dengan metode transformasi lyzenga (1980), menghasilkan luasan dari klasifikasi yang terasosisasi satu sama lain, dimana kelas yang dibuat tidak memisahkan satu objek dengan objek lainnya pada satu ekosistem perairan dangkal, diantaranya kelas yang dibuat antara lain ; karang yang bercampur pasir, karang berampur dengan pasir dan lamun dan jenis karang penghalan (*barrier reef*). Hal tersebut dilakukan karena keterbatasan citra SPOT-4 dengan resolusi 20 meter untuk menghasilkan klasifikasi yang detail untuk memisahkan antara objek pasir, karang dan lamun, sedangkan penelitian Anggoro (2015) menggunakan citra Worldview-2 sebagai sumber data dalam deteksi ekosistem perairan dangkal

yang mana Worldview-2 merupakan data citra dengan resolusi tinggi yakni 2 meter, sehingga dalam penelitiannya ekosistem perairan dangkal dapat diklasifikasikan sejumlah 9 kelas. .

4.2.2 Analisis kondisi Lingkungan Terumbu Karang Berdasarkan Data Parameter *Thermal Stress*

Kondisi lingkungan perairan mempengaruhi semua komponen didalamnya, termasuk ekosistem terumbu karang. Parameter suhu merupakan parameter hidro oseanografi yang paling sensitif terhadap kondisi ekosistem terumbu karang, sehingga hasil tersebut dapat terpaut apakah kondisi ekosistem terumbu karang sedang mengalami *stress* atau sedang dalam kondisi normal . Analisis kondisi perairan gugus Pulau Pari terhadap ekosistem terumbu karang mencakup analisis berdasarkan heat *stress level* yang didapat dari data *Degree heating week* dan data *hotspot* serta analisis berdasarkan kondisi suhu permukaan laut dan anomali suhu permukaan laut yang diamati mulai pertengahan tahun 2013 sampai awal tahun 2018.

4.2.2.1 Suhu Rata-Rata Permukaan Air Laut

Berdasarkan Gambar 10 dan Tabel 12, suhu permukaan laut pada tahun 2016 merupakan suhu rata – rata permukaan laut tertinggi di perairan Gugus Pulau Pari (data satelit NOAA 2013 – 2018). Suhu permukaan pada awal tahun 2016 berada pada angka 29° Celsius dan berada pada puncaknya dibulan Mei yaitu sebesar 30.276° Celsius, kemudian turun dan stabil dikisaran 29° Celsius sampai bulan November, dan pada bulan Februari 2017 dikisaran 28° Celsius.

Suhu permukaan laut berdasarkan data NOAA di perairan Gugus Pulau Pari dalam kurun waktu 2013 hingga 2018 berada pada rata – rata nilai tertinggi yaitu tahun 2016. Menurut Athoillah (2017), fenomena El Nino dan La Nina. El Nino secara ilmiah diartikan sebagai fenomena global dari sistem interaksi laut dan

atmosfer yang ditandai dengan meningkatnya suhu muka laut atau SST (*Sea Surface Temperature*) di sekitar Pasifik Tengah dan Timur sepanjang equator dari nilai rata-ratanya. Menurut Estnngtyas (2007), el Nino dan La Nina merupakan salah satu fenomena global yang kemunculannya dapat diprakirakan berdasarkan indikasi-indikasi dari beberapa parameter global seperti suhu permukaan laut (SPL). Menurut data Climate Prediction Center NOAA (2019), indeks nilai terjadinya El-Nino pada tahun 2016 merupakan lanjutan dari fenomena el-nino pada tahun sebelumnya yaitu tahun 2015. Namun, el-nino kuat dimana indeks el-nino lebih dari +1,5 baru mulai Oktober 2015 dan terus berlanjut hingga puncaknya pada 2016 dimana indeks el-nino mencapai +2.5.

Tingginya suhu permukaan laut juga berhubungan dengan rendahnya curah hujan dan curah hujan dipengaruhi juga oleh fenomena ENSO. Jumlah penerimaan curah hujan yang turun pada jangka waktu tertentu di suatu wilayah diduga berhubungan dengan perubahan suhu permukaan laut. Fenomena El Nino Southern Oscillation (ENSO) merupakan salah satu contoh nyata bahwa perubahan SST berpengaruh terhadap curah hujan. Pada saat terjadi El Nino yang merupakan fase hangat dari ENSO, terjadi kenaikan SST dari normalnya di bagian tengah dan timur Samudera Pasifik tropik sehingga menyebabkan meningkatnya penerimaan curah hujan di wilayah Peru, Chili dan Ekuador, dan sebaliknya di wilayah Indonesia, Papua Nugini dan sebagian Filipina mengalami penurunan penerimaan curah hujan.

Kondisi besaran suhu permukaan air laut di perairan Gugus Pulau Pari jika dihubungkan antara fenomena el-nino dimana suhu permukaan laut di Gugus Pulau Pari pada tahun 2016 berada pada nilai tertinggi dibanding pada 2015, karena puncak terjadinya el-nino berada pada tahun 2016 awal yaitu pada bulan Januari – April, sedangkan anomali suhu permukaan laut terendah dalam kurun waktu 2013 – 2018 berada pada tahun 2018. Hal tersebut juga masih terkat

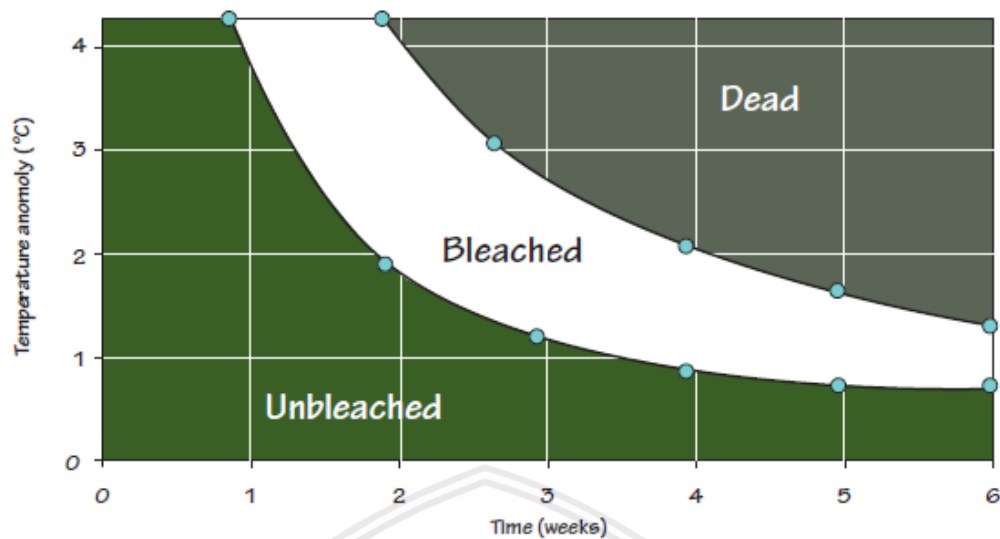
dengan fenomena ENSO. Indeks ENSO berada pada nilai negatif pada tahun 2018, walaupun pada tahun 2018 tidak terjadi fenomena la-nina pada wilayah equator namun dengan nilai negative pada indeks ENSO, kondisi suhu perairan khususnya wilayah khatulistiwa berada pada suhu yang lebih rendah dari kondisi normal

Berdasarkan data nilai suhu permukaan laut yang didapat dari satelit NOAA, dapat dilihat pola selama 2013 sampai 2018 memiliki pola fluktuasi yang hampir sama, dimana dari tahun 2014 hingga 2018 pola pergerakan naiknya suhu permukaan laut dimulai pada bulan April dan berada pada titik terhangat pada bulan Mei dan dibulan Juni suhu kembali turun. Hal tersebut bisa disebabkan oleh pengaruh musim di wilayah tropis dimana fluktuasi didasarkan oleh sirkulasi angin timur dan angin barat yang terjadi di wilayah tropis seperti di Indonesia.

4.2.2.2 Anomali Suhu Permukaan Air Laut

Anomali yang terjadi walaupun dalam skala atau intensitas yang kecil, apabila terjadi dalam kurun waktu atau dalam periode yang panjang, *bleaching* bahkan kematian karang dapat terjadi karena karang tidak dapat melaukan recovery terhadap stress yang diterima dalam waktu yang terus menerus

Menurut Marshall dan Schuttenberg (2006), kondisi ekosistem karang akibat pengaruh dari *thermal stress* yang dapat berakhir terjadinya *coral bleaching* secara langsung berhubungan dengan intensitas anomali yang diterima karang dengan waktu berlangsungnya terjadinya *stress*. Gambar 14 di bawah ini menjelaskan hubungan intensitas *thermal stress* dan periode berlangsungnya terhadap kondisi terumbu karang.



Gambar 14. Hubungan Intensitas dan Periode Berlangsungnya terhadap Kondisi Terumbu Karang (Marshall dan Schuttenberg 2006).

Gambar 14 di atas menjelaskan pengaruh *temperature anomaly* dan lama terjadinya anomali terhadap kondisi karang. Semakin tinggi intensitas anomali yang diterima oleh karang, maka semakin sedikit waktu yang dibutuhkan untuk membuat karang menjadi stress dan *bleaching* bahkan berakhir pada kematian karang. Namun apabila waktu terjadinya anomali berlangsung lama, pada intensitas anomali yang terjadi sangat kecil, hal ini dapat menyebabkan terjadinya *bleaching* pada karang karena karang tidak dapat mengakumulasi stress dalam periode yang terus menerus tanpa adanya waktu untuk *recovery*.

Anomali suhu permukaan laut di perairan Gugus Pulau Pari pada kurun waktu tahun 2013 hingga 2018 tertinggi pada tahun 2016. Menurut Setiawan et.al (2017), faktor peningkatan suhu air laut seringkali diasosiasikan dengan pemanasan global dimana karang termasuk fauna dengan toleransi suhu yang rendah dikarenakan peningkatan suhu sebesar 1 0C – 1,5 0C diatas rata-rata diketahui sudah dapat memicu terjadinya pemutihan karang. Menurut Athoillah et.al (2017), fenomena El Nino ditandai dengan anomali SST bernilai positif lebih dari 0,5°C (yang apabila nilai anomali SST lebih besar dari +1,50 berarti El Nino kuat) dan

fenomena La Nina ditandai dengan anomali SST bernilai negatif kurang dari $-0,5^{\circ}\text{C}$. Terjadinya fenomena El Nino Kuat pada tahun 2015 hingga pertengahan 2016 dimana fenomena El Nino kuat terjadi pada bulan Agustus 2015 - Maret 2016. Menurut data Climate Prediction Center NOAA (2019), indeks nilai terjadinya El-Nino pada tahun 2016 merupakan lanjutan dari fenomena el-nino pada tahun sebelumnya yaitu tahun 2015. Namun, el-nino kuat dimana indeks el-nino lebih dari +1,5 baru mulai Oktober 2015 dan terus berlanjut hingga puncaknya pada 2016 dimana indeks el-nino mencapai +2.5.

Hubungan antara fenomena el-nino dan fluktuasi anomali suhu permukaan laut di perairan Gugus Pulau Pari dapat dilihat dimana nilai anomali suhu permukaan laut di Gugus Pulau Pari pada tahun 2016 berada pada nilai tertinggi dibanding pada 2015, karena puncak terjadinya el-nino berada pada tahun 2016 awal yaitu pada bulan Januari – April, sedangkan anomali suhu permukaan laut terendah dalam kurun waktu 2013 – 2018 berada pada tahun 2018. Hal tersebut juga masih terkait dengan fenomena ENSO. Indeks ENSO berada pada nilai negatif pada tahun 2018, walaupun pada tahun 2018 tidak terjadi fenomena la-nina pada wilayah equator namun dengan nilai negative pada indeks ENSO, kondisi suhu perairan khususnya wilayah khatulistiwa berada pada suhu yang lebih rendah dari kondisi normal

4.2.2.3 Hotspot

Nilai Hotspot memiliki keterkaitan dengan suhu permukaan laut dimana nilai hotspot sendiri didapat dari nilai maksimum suhu permukaan laut dalam satu bulan yang dikurangi dengan nilai suhu rata-rata permukaan dari bulan tersebut, oleh karena itu pergerakan hotspot bergantung dari faktor yang mempengaruhi suhu permukaan laut. Berdasarkan pengolahan data *coral reef watch* NOAA di perairan Gugus Pulau Pari, nilai rata-rata hotspot tertinggi pada tahun 2013

walaupun hanya berbeda tipis dengan rata-rata tahun 2016 dan rata – rata nilai hotspot terendah pada tahun 2018, terlihat sedikit berbeda dengan pola tertinggi dari nilai rata –rata suhu permukaan laut tertinggi dimana berada pada tahun 2016 namun suhu rata –rata terendah dan nla hotspot terendah sama berada pada tahun 2018 namun memiliki tren yang sama. Nilai tertinggi dari hotspot terjadi pada tahun 2013 arena pada tahun 2013 data suhu permukaan laut rata-rata yang tersedia pada database NOAA baru dari pertengahan tahun sedangkan ketersediaan data hotspot sudah tersedia 2 bulan lebih awal sehingga faktor perbedaan selisih sedikit bergeser hanya karena faktor perbedaan ketersediaan data, namun secara pola dan tren antara hotspot dan suhu permukaan laut bergerak sejajar dan memiliki pola yang sama.

Nilai *Hotspot* secara keseluruhan berdasarkan data NOAA dapat dilihat tren mulai pertengahan tahun 2013 sampai awal 2018 terjadi penurunan tren *Hotspot* dimana fluktuasi terbesar terjadi pada tahun 2013 dan pada tahun tersebut merupakan tahun dimana tingkat pemanasan tertinggi dalam kurun waktu 2013 hingga 2017. Dilihat dari fluktuasi pergerakan nilai *Hotspot* secara tahunan mulai 2013 sampai 2018 awal, dapat dilihat pola fluktuasi dimana kenaikan nilai *Hotspot* terjadi setelah bulan April dan berada pada titik tertinggi pada Mei disetiap tahunnya. Menurut Liu *et al.* (2014), nilai *Hotspot* di suatu perairan jika mencapai 1.0° Celsius atau lebih mengindikasikan terjadi *thermal stress* pada karang, dan berpotensi menyebabkan pemutihan karang.

4.2.2.4 Degree Heating Week

Nilai *Degree Heating Week* (DHW) merupakan parameter yang saling terkait dengan nilai Hotpot karena nilai *Degree Heating Week* sendiri merupakan perkiraan akumulasi dari nilai hotspot.. Rata – rata tahunan Data Degree Heating Week di perairan Gugus Pulau Pari tertinggi berada pada tahun 2014 dan nla rata

– rata tahunan hotspot tertinggi pada tahun 2013 Hal tersebut karena nilai DHW sendiri merupakan prediksi nilai akumulasi stress yang diduga diterima oleh karang yang dihitung secara berkala selama 12 minggu atau selama 3 bulan sebelumnya, jadi nilai *degree heating week* yang didapat merupakan hasil berdasarkan kondisi stress yang diakumulasi sejak 12 minggu sebelumnya. Hal tersebut memungkinkan pola pada nilai *Degree Heating Week* menjadi mundur namun masih sangat terikat dengan Hotspot.

Pola maksimum *Degree Heating Week* (DHW) mulai Juli tahun 2013 – 2015, memiliki satu kesamaan dimana terjadi kenaikan yang sama terus menerus terjadi setiap tahunnya, yaitu antara bulan Mei-Juli, baik tahun 2013, 2014, dan 2015 walaupun kenaikan yang tidak sama, namun memiliki pola fluktuasi yang sama. Satu hal yang berbeda, yaitu pada akhir tahun 2014 hingga awal 2015, kembali terjadi fluktuasi kenaikan nilai *Degree Heating Week* (DHW), tepatnya mulai bulan November 2014 hingga Januari 2015 dan kembali turun pada bulan selanjutnya.

Berbeda dengan 2013-2015, nilai *Degree Heating Week* pada 2016 – 2018 tidak se-fluktuasi tahun – tahun sebelumnya, dan nilai DHW cenderung stabil pada angka yang rendah. Pada tahun 2016 kenaikan DHW terjadi mulai bulan April hingga Juli dengan nilai mulai dari angka 0,649 ° Celsius hingga pada titik tertinggi yaitu 2,504 ° Celsius pada Juli-Agustus. Nilai DHW pada 2017 cenderung stabil pada nilai 0°Celsius dan hanya mengalami kenaikan pada bulan Oktober-Desember sebesar 0.704 ° Celsius, yang kemudian turun kembali pada Februari 2018 dan hingga April 2018 nilai DHW stabil berada pada angka 0.15 sampai 0.16 ° Celsius hingga akhir tahun 2018 cenderung berada pada tingkatan nilai rendah bahkan nol.

4.2.3 Analisis Status dan Kondisi Ekosistem Terumbu Karang Terhadap Potensi Terjadinya *Coral Bleaching*

Nilai *Degree Heating Week* (DHW) dan *Hotspot* hasil pengolahan dapat dihubungkan dan menghasilkan beberapa level *stress* pada ekosistem terumbu karang. Level *stress* terhadap terumbu karang di perairan gugus Pulau Pari dapat terjadi minimal apabila didapati kondisi nilai dari $1 \leq \text{Hotspot}$ dan $0 < \text{DHW} < 4$.

Berdasarkan nilai hubungan antara *Degree Heating Week* dan *Hotspot* dapat dilihat waktu terjadinya indikasi heat *stress* pada ekosistem terumbu karang dan lama periode *stress* tersebut berlangsung. Menurut INCOIS (2011), status dan kondisi terkini ekosistem terumbu karang berdasarkan *thermal stress* menurut acuan hasil informasi *hotspot* maupun DHW dapat diketahui dalam beberapa level kategori. Status “*no stress*” dan “*watch*” pada karang terjadi pada kondisi dimana nilai *hotspot* berada pada dibawah nol dan *hotspot* dibawah 1°C. Kategori “*warning*”, “*alert level-1*” serta “*alert level-2*” didapat dari faktor *hotspot* maupun DHW. Status “*warning*”, terjadi ketika nilai *Hotspot* ≥ 1 serta *Degree Heating Week* (DHW) berada pada rentang nol hingga 4°C-week. “*Alert level-1*” terjadi apabila kondisi DHW sudah berada pada rentang 4°C-week hingga 8°C-week., sedangkan status “*alert level-2*” merupakan kondisi dimana nilai DHW berada pada 8°C atau lebih. Status “*watch*” pada ekosistem terumbu karang berarti terjadi sedikit *stress* pada karang, yang kemudian naik status menjadi “*warning*” yang artinya *stress* yang terakumulasi pada karang. *Alert level-1*, merupakan status yang mana kondisi *stress* yang terus terjadi pada karang secara berkepanjangan yang akhirnya menyebabkan *bleaching* parsial pada karang, dan jika terus berlanjut akan sampai pada “*alert level-2*” yang menyebabkan *bleaching* skala luas dan berakhir kematian pada karang.

Status dan kondisi ekosistem terumbu karang di perairan gugus Pulau Pari, DKI Jakarta berdasarkan data *hotspot* dan *degree heating week* (DHW), secara

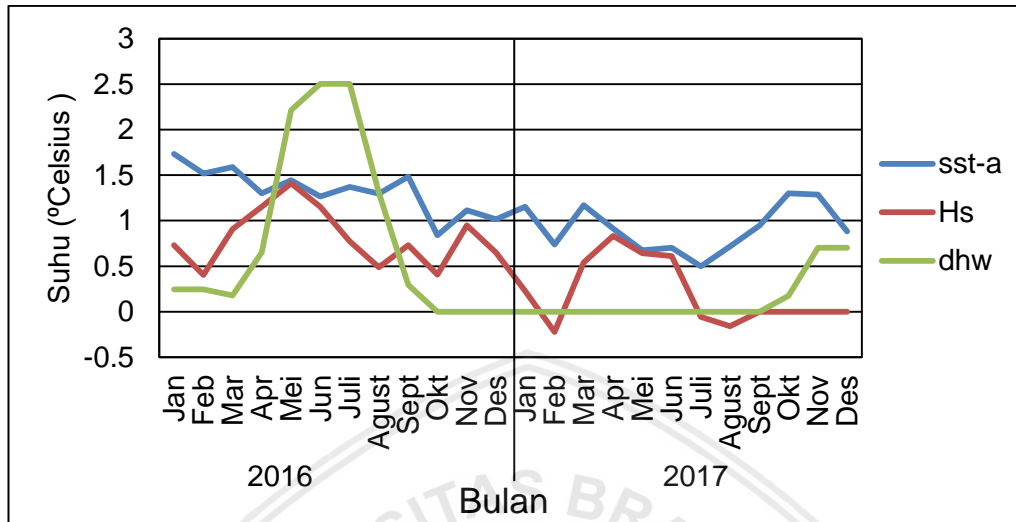
umum status ekosistem terumbu karang di gugus Pulau Pari masuk kedalam status kategori “*watch*” yang mana terjadi *thermal stress* dalam intensitas yang kecil pada ekosistem karang. *Thermal stress* berdasarkan parameter *Degree Heating Week* dan *Hotspot* di Gugus Pulau Pari secara kurun waktu 2013-2018 berada pada tingkat *stress* tinggi terjadi pada tahun 2014-2016 dan kondisi tersebut dapat berpotensi menimbulkan pemutihan pada karang.

Thermal stress yang terjadi di gugus Pulau Pari yang sampai berpotensi mengakibatkan pemutihan karang / *coral bleaching* dengan status warning terjadi pada tahun 2014 bulan Mei hingga Desember 2014. Status ini berubah menjadi ‘*watch*’ pada bulan September, akan tetapi pada bulan Juni hingga Agustus ekosistem karang di gugus Pulau Pari berada dalam status “*alert level-1*”. Diduga kuat pada periode *alert level-1* tersebut terjadi *bleaching* parsial pada ekosistem karang di perairan gugus Pulau Pari. Status “*warning*” dengan kondisi berpotensi terjadinya *bleaching* kembali terjadi pada Maret – Mei dan Desember 2015 serta April – Juni 2016. Potensi terjadinya *bleaching* pada tahun 2017 tidak terlihat sama sekali, dimana pada tahun 2017 *stress* cenderung kecil bahkan sebagian besar tidak terjadi *stress* atau status “*no stress*”, dan kondisi tersebut berlangsung hingga Maret 2018.

4.2.4 Analisis Kondisi dan Status Terumbu Karang Terhadap Sebaran Terumbu Karang di Perairan Gugus Pulau Pari

Nilai parameter hidrooseanografi yang digunakan berupa data *thermal stress* yang meliputi *Degree Heating Week*, *Hotspot*, maupun anomali suhu permukaan laut, menghasilkan gambaran kondisi dan status terumbu karang di perairan gugus Pulau Pari, kemudian dari hasil tersebut dapat dianalisis kemungkinan adanya pengaruh antara kondisi dan status terumbu karang berdasarkan terhadap sebaran terumbu karang di gugus Pulau Pari pada rentang tahun 2016 hingga

2017. Gambar 15 berikut ini merupakan nilai *Hotspot*, DHW dan SST-anomali di perairan gugus Pulau Pari pada kurun waktu tahun 2016 hingga tahun 2017.



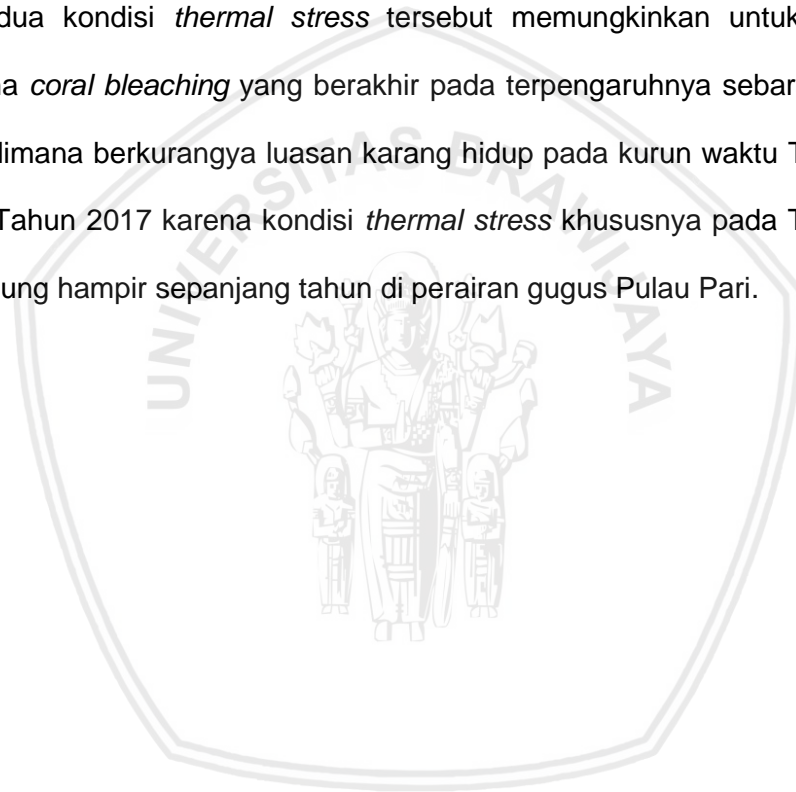
Gambar 15. Data DHW, *Hotspot* dan SST-anomali tahun 2016 dan 2017

Sebaran karang hidup di gugus pulau Pari antara tahun 2016 hingga 2017 mengalami penurunan luasan sebesar 3,59 Ha, serta lamun dan algae mengalami penambahan luasan sebesar 27,77 Ha. Kondisi atau status *stress* karang jika dikaitkan dengan sebaran karang di perairan gugus Pulau Pari khususnya penurunan luasan karang hidup dapat dilihat dari Tabel 16 sebelumnya, kondisi *stress* karang pada tahun 2016 dimana status ancaman *bleaching* maupun berujung kematian karang berdasarkan *hotspot* dan DHW terjadi pada perairan gugus Pulau Pari selama tiga bulan berturut – turut pada tahun 2016, dimana status dan kondisi pada bulan April sampai Juni berada pada level “*warning*” yang mana kondisi tersebut memungkinkan terjadinya *bleaching* pada area tertentu di perairan gugus Pulau Pari, dan pada saat terjadinya *bleaching*. Bulan selanjutnya, kondisi dan status terumbu karang di gugus Pulau Pari hanya turun satu kategori menjadi “*watch*” dan kondisi tersebut masih memungkinkan terjadinya *stress* secara berkelanjutan walaupun dalam intensitas yang kecil, kondisi tersebut bertahan hingga Januari 2017, dan pada Februari 2017 intensitas *stress* berada pada kategori “*no stress*”. Kedua, dengan kondisi *stress* yang terus terjadi pada

kurun waktu tersebut, pertumbuhan algae pada sekitar terumbu karang lebih cepat terjadi

Faktor kedua yaitu jika sebaran karang dihubungkan dengan anomali suhu permukaan laut di perairan gugus Pulau Pari, dilihat pada tahun 2016 anomali suhu permukaan berada pada $>1^{\circ}\text{C}$ dan kondisi tersebut berlangsung cukup lama dan anomali berangsur turun dan berada pada level $<1^{\circ}\text{C}$ baru pada bulan April 2017.

Kedua kondisi *thermal stress* tersebut memungkinkan untuk terjadinya fenomena *coral bleaching* yang berakhir pada terpengaruhnya sebaran terumbu karang dimana berkurangnya luasan karang hidup pada kurun waktu Tahun 2016 sampai Tahun 2017 karena kondisi *thermal stress* khususnya pada Tahun 2016 berlangsung hampir sepanjang tahun di perairan gugus Pulau Pari.



5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebaran ekosistem terumbu karang hasil pengolahan berdasarkan data Sentinel-2 antara tahun 2016 dan 2017 dengan nilai akurasi sebesar 77,95%. Terumbu karang secara merata tersebar di sekeliling Gugus Pulau Pari pada edalaman 2-5 meter. Berdasarkan hasil peta, sebaran karang hidup di gugus Pulau Pari pada tahun 2016 ke tahun 2017 menunjukkan terjadinya penurunan luasan sebesar 3,59 Ha, sedangkan kelas karang mati turun seluas 73,96 Ha. Komponen kelas yang mengalami kenaikan luasan yaitu kelas lamun/algae dan kelas pasir dimana lamun/algae naik sebesar 27,77 Ha dan pasir sebesar 63,51 Ha.
2. Status dan kondisi terumbu karang berdasarkan data *thermal stress* NOAA secara umum berada pada status *watch* yang artinya arang mengalami stress dalam sala kecil. Kondisi *thermal stress* yang mengancam terumbu karang atau berpotensi dapat dimungkinkan terjadinya *bleaching* yaitu status "*warning*" terjadi setiap tahunnya mulai dari 2013 – 2016 dengan periode berlangsungnya *stress* antara 2-3 bulan, kecuali tahun 2017 dimana status berada pada kategori "*watch*" dan "*no stress*". Status "*alert level-1*" yang akibatnya dapat menyebabkan kematian pada terumbu karang terjadi pada tahun 2014, yakni mulai bulan Juni sampai Agustus
3. . Kondisi *thermal stress*, baik dari *Degree Heating Week* dan *Hotspot* maupun dari data anomali suhu permukaan laut memungkinkan untuk terjadinya fenomena *coral bleaching* yang berakhir pada berkurangnya luasan karang hidup pada kurun waktu tahun 2016 sampai tahun 2017 sebesar 3,59 Ha dapat diduga karena kondisi *thermal stress* khususnya

pada tahun 2016 berlangsung hampir sepanjang tahun pada tahun 2016 di perairan gugus Pulau Pari.

5.2 Saran

Penelitian ini menggunakan data Citra Sentinel-2 dimana masih memiliki keterbatasan data . Perlunya penelitian sejenis ini dan menggunakan data citra dengan resolusi yang sejenis dengan rentang waktu atau periode lebih lama dan dihubungkan langsung dengan kondisi terumbu karang akibat *thermal stress* dan hasilnya akan lebih jelas pengaruhnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Amin. 2009. "Terumbu Karang; Aset Yang Terancam (Akar Masalah Dan Alternatif Solusi Penyelamatannya)." *Geografi FKIP – UNISMA Bekasi* Volume I. No. 2. Juni 2009.
- Andréfouët, Serge, Philip Kramer, Damaris Torres-Pulliza, Karen E Joyce, Eric J Hochberg, Rodrigo Garza-Pérez, Peter J Mumby, 2003. "Multi-Site Evaluation of IKONOS Data for Classification of Tropical Coral Reef Environments." *Remote Sensing of Environment*, IKONOS Fine Spatial Resolution Land Observation, 88 (1): 128–43. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.04.005>.
- Arief, Muchlisin. 2012. "Aplikasi Data Satelit Spot – 4 Untuk Mendeteksi Terumbu Karang: Studi Kasus Di Pulau Pari." *2012 Globe* Volume 14 No. 1.
- . 2013. "Pengembangan Metode Lyzenga Untuk Deteksi Terumbu Karang Di Kepulauan Seribu Dengan Menggunakan Data Satelit AVNIR-2." *Remote Sensing Application Centers LAPAN -Jakarta* Statistika, Vol. 13 No. 2: 55 – 64.
- Badan Informasi Geospasial. 2014. *PERATURAN KEPALA BADAN INFORMASI GEOSPASIAL NOMOR 8 TAHUN 2014*. No.1063, 2014.
- Burke, Lauretta, Kathleen Reytar, Mark Spalding, and Allison Perry. 2012. *Menengok Kembali Terumbu Karang Yang Terancam Di Segitiga Terumbu Karang*. World Resources Institute. www.terangi.or.id.
- COREMAP LIPI. 2017. "PEMUTIHAN KARANG (BLEACHING CORAL) DAN KEJADIAN BLEACHING TAHUN 2016." 2017. <http://coremap.or.id/berita/1172>.
- Daniel, Dirga. 2014. "Karakteristik Oseanografis Dan Pengaruhnya Terhadap Distribusi Dan Tutupan Terumbu Karang Di Wilayah Gugusan Pulau Pari, Kabupaten Kep.Seribu, Dki Jakarta." 2014, UGM, Geografi Dan Ilmu Lingkungan.
- European Space Agency. 2012. *Sentinel-2 ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services*. ESA Communications ESTEC, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands Tel: +31 71 565 3408 Fax: +31 71 565 5433 www.esa.int.
- Gatti, and Bertolini. 2015. "Sentinel-2 Products Specification Document." 2015, no. 13.1: 1 / 496.
- "Goreau, T.J. and Hayes, R.L. (1994) *Coral bleaching and Ocean 'Hot Spots'*. *Ambio*, 23, 176-180. - References - Scientific Research Publish." n.d. Accessed August 15, 2017. [http://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=882409](http://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=882409).

- Gramer, Lewis J., and James C. Hendee. 2015. "Sea Surface Temperature Can Be Used to Predict Coral bleaching Events," *Oceanographic Connectivity*, Chapter 2.
- Guntur, Prasetya, and Wawan. 2012. *Pemetaan Terumbu Karang: Teori, Metode, Dan Praktik*. Bogor: Ghalia.
- Habibie, Muhammad Najib, and Tri Astuti Nuraini. 2014. "Karakteristik Dan Tren Perubahan Suhu Permukaan Laut Di Indonesia Periode 1982-2009." *Puslitbang BMKG*, 37–49.
- Hariyanto, Teguh, and Alhadir Lingga. 2016. "Analisa Perubahan Luasan Terumbu Karang Dengan Metode Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Pulau Menjangan, Bali)" *GEOID Vol. 01 No. 02 Februari 2016*: (171-175).
- Hedley, John, Chris Roelfsema, Benjamin Koetz, and Stuart Phinn. 2012. "Capability of the Sentinel 2 Mission for Tropical Coral Reef Mapping and Coral bleaching Detection." *ELSEVIER Remote Sensing of Environment* 120 (2012): 145–155.
- Hedley, John D., Chris M. Roelfsema, Iliana Chollett, Alastair R. Harborne, Scott F. Heron, Scarla J. Weeks, William J. Skirving, et al. 2016. "Remote Sensing of Coral Reefs for Monitoring and Management: A Review." *Www.Mdpi.Com/Journal/Remotesensing Remote Sens.* 2016, 8, 118.
- Helmi, M., A. Hartoko, Herkiki S, Munasik, and S. Wouthuyzen. 2011. "Analisis Respon Spektral Dan Ekstraksi Nilai Spektral Terumbu Karang Pada Citra Digital Multispektral Satelit ALOS-AVNIR Di Perairan Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu, Jakarta." *Buletin Oseanografi Marina* Oktober 2011. Vol.1 120-136: 120–36.
- INCOIS. 2011. "Coral bleaching Alert System." 2011, Indian National Centre for Ocean Information Services (INCOIS) Hyderabad, .
www.incois.gov.in/Incois/realtimeinfo.jsp.
- Jhonnerie, Romie. 2015. "Klasifikasi Mangrove Berbasis Objek Dan Piksel Menggunakan Citra Satelit Multispektral Di Sungai Kembung, Bengkalis, Provinsi Riau." *SEKOLAH PASCASARJANA INSTITUT PERTANIAN BOGOR BOGOR*.
- Kayanne, Hajime. 2016. "Validation of Degree Heating Weeks as a Coral bleaching Index in the Northwestern Pacific." *Springer-Verlag Berlin Heidelberg Coral Reefs* (2017) 36: 63–70.
- KEPMEN LH No. 54. 2004. "Tentang Baku Mutu Air Laut." 2004, MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP, .
- Kiefer, and Lillesand. 1990. *Penginderaan Jauh Dan Interpretasi Citra (Diterjemahkan Oleh Dulbahri, Prpto Suharsono, Hartono, Dan Suharyadi)*. Yogyakarta: Gajah Mada Press.
- Li, Angang, and Matthew A. Reidenbach. 2014. "Forecasting Decadal Changes in Sea Surface Temperatures and Coral bleaching within a Caribbean Coral






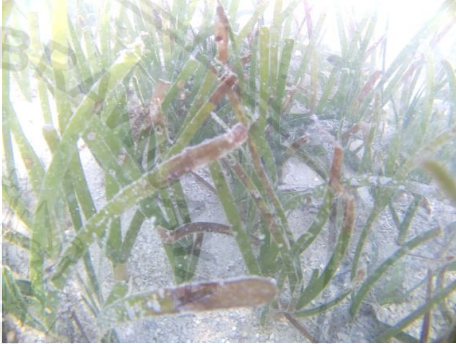




Reef." Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014 DOI 10.1007/s00338-014-1162-1. <https://www.zotero.org/download/connectors>.

- Liew, H.C., Y.S Chua, and EH. Chan. 2001. "The Impact on Coral Reefs by Leisure Divers in Redang." *National Symposium on Marine Park in Trengganu: Toward Sustainable Usage and Management*.
- Liu, Gang, Scott F. Heron, C. Mark Eakin, Frank E. Muller-Karger, Maria Vega-Rodriguez, Liane S. Guild, Jacqueline L. De La Cour 2014. "Reef-Scale Thermal Stress Monitoring of Coral Ecosystems: New 5-Km Global Products from NOAA Coral Reef Watch" *Remote Sens.* 2014, 6: 11579–606.
- Lyzenga, David R. 1978. "Passive Remote Sensing Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features." 1978, *Applied Optic*, Vol.17 No.3.
- Marini, Yennie. 2001. "Pemanfaatan Data Satelit Landsat TM Untuk Inventarisasi Ekosistem Terumbu Karang Di Perairan Sibolga Kabupaten Tapanuli Tengah Sumatera Utara" Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Marshall, P. A., and A. H. Baird. 2000. "Bleaching of Corals on the Great Barrier Reef: Differential Susceptibilities among Taxa." *Coral Reefs* 19 (2): 155–63. <https://doi.org/10.1007/s003380000086>.
- Marshall, Paul, and Heidi Schuttenberg. 2006. "A Reef Manager's Guide To Coral bleaching." 2006 IUCN Publications Services Unit. www.iucn.org/bookstore.
- Muhsoni, Firman Farid. 2011. "Pemetaan Terumbu Karang Menggunakan Citra Alos Di Pulau Kangean Kabupaten Sumenep." *Jurnal Embryo Fakultas Pertanian Universitas Trunojoyo Madura* Volume 8 No. 1, Desember 2011: 110–18.
- Nugraha, Aditya Hikmat, Ade Ayu Mustika, Gede Suastika Joka Wijaya, and Danu Adrian. 2011. "Kondisi Ekosistem Terumbu Karang Di Perairan Pulau Pari Kepulauan Seribu." *Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor*.
- Nybakken, James W. 1988. *Biologi Laut : Suatu Pendekatan Ekologis*. 574.92 NYB b. Jakarta: Gramedia.
- ppk-kp3k.kkp. 2017. *Pulau Pari*. Kementrian Kelautan dan Perikanan.
- Prayudha, Bayu. 2014. *Panduan Teknis Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal*. Vol. COREMAP-CTI. 21p. <http://lipi.go.id/publikasi/Panduan-Teknis-Pemetaan-Habitat-Dasar-Perairan-Laut-Dangkal/1231>.
- Purba, Noir P., Seniman H, Vikky Arindi, and Archie F. 2010. "Aplikasi Pengamatan Sea Surface Temperature Anomali (Ssta) Untuk Deteksi Awal Pemutihan Karang (Coral bleaching) Di Wilayah Timur Indonesia" *Prosiding Seminar Penerbangan dan Antariksa 2010*.

- Rani, Chair. 2004. "Perubahan Iklim: Kaitannya Dengan Terumbu Karang." *Fak. Ilmu Kelautan Dan Perikanan, Universitas Hasanuddin*.
- Rudi, Edi. 2012. "Pemutihan Karang Di Perairan Laut Natuna Bagian Selatan Tahun 2010 (Coral bleaching at Southern Natuna Sea in 2010)" *Biospecies*, Volume 5 No.1, Februari 2012, (hlm 1-7).
- Salim, Hadiwijaya L., and Ahmad. 2013. "Karakteristik Pantai Gugusan Pulau Pari." *Balitbang KKP REGION Volume V No. 1 Maret 2013*.
- Semedi, Bambang. 2016. "Estimation of Stress Levels of Coral Reefs Bleaching Using Night-Time Satellite Data: A Case Study of Indonesian Tropical Waters (PDF Download Available)." *ResearchGate* 15: 297–300.
- Sentinel.esa. 2017. "User Guides - Sentinel-2 MSI - Overview - Sentinel Online." 2017. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview>.
- SPBN Pusfatja. 2015. *Pedoman Pengolahan Data Penginderaan Jauh Untuk Ekosistem Terumbu Karang*. <http://103.16.223.201/documents/41>.
- Suwargana, Nana. 2014. "Analisis Citra Alos Avnir-2 Untuk Pemetaan Terumbu Karang (Studi Kasus: Banyuputih, Kabupaten Situbondo)." *Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*, 588–96.
- Wilkinson, Clive R., and Robert W. Buddemeier. 1994. "Global Climate Change and Coral Reefs: Implications for People and Reefs. Report of the UNEP-IOC-ASPEI-IUCN Global Task Team on the Implications of Climate Change on Coral Reefs."
- Woesik, Van, De Vantier, and Glazebrook. 1995. "Effects of Cyclone 'Joy' on Nearshore Coral Communities of the Great Barrier Reef." *Marine Ecology Progress Series* 128 (November): 261–70. <https://doi.org/10.3354/meps128261>.
- Xu, Jingping, and Dongzhi Zhao. 2014. "Review of Coral Reef Ecosystem Remote Sensing." *Acta Ecologica Sinica* 34 (1): 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2013.11.003>.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Bawah Air

 <p data-bbox="355 741 794 779">Validasi kelas karang mati/<i>rubble</i></p>	 <p data-bbox="887 741 1326 779">Validasi kelas karang mati/<i>rubble</i></p>
 <p data-bbox="387 1167 762 1205">Validasi Kelas Lamun/Algae</p>	 <p data-bbox="914 1167 1289 1205">Validasi Kelas Lamun/Algae</p>
 <p data-bbox="387 1491 762 1529">Validasi Kelas Karang Hidup</p>	 <p data-bbox="914 1491 1289 1529">Validasi Kelas Karang Hidup</p>
 <p data-bbox="443 1906 707 1944">Validasi Kelas Pasir</p>	 <p data-bbox="970 1906 1233 1944">Validasi Kelas Pasir</p>

Lampiran 2. Data Hasil Pengukuran Suhu

No.	Koordinat x	Koordinat y	Titik Lokasi	Suhu °C
1	106,6177338	-5,86031584	Pantai Kresek	31,2
2	106,6112047	-5,86566966	Pantai Bintang	30,2
3	106,6230876	-5,85359092	Pantai Perawan	32,6
4	106,6159709	-5,85535376	Pulau Kongsu Timur	30,9
5	106,6040228	-5,85202395	Pulau Kongsu Barat	31,6
6	106,6119882	-5,8701747	Spot Muara Karang	31,8
7	106,597102	-5,86560437	Pulau Tengah	31,3
8	106,5823463	-5,86371094	Pulau Burung	30,7

Lampiran 3. Data Pengukuran DO

No.	Koordinat x	Koordinat y	Titik Lokasi	DO (mg/l)
1	106,6177338	-5,86031584	Pantai Kresek	7,1
2	106,6112047	-5,86566966	Pantai Bintang	8,2
3	106,6230876	-5,85359092	Pantai Perawan	6,9
4	106,6159709	-5,85535376	Pulau Kongsu Timur	6,8
5	106,6040228	-5,85202395	Pulau Kongsu Barat	7,1
6	106,6119882	-5,8701747	Spot Muara Karang	7,4
7	106,597102	-5,86560437	Pulau Tengah	7
8	106,5823463	-5,86371094	Pulau Burung	7,6

Lampiran 4. Data Pengukuran Salinitas

No.	Koordinat x	Koordinat y	Titik Lokasi	ppt
1	106,6177338	-5,86031584	Pantai Kresek	33
2	106,6112047	-5,86566966	Pantai Bintang	32
3	106,6230876	-5,85359092	Pantai Perawan	32,5
4	106,6159709	-5,85535376	Pulau Kongsu Timur	35
5	106,6040228	-5,85202395	Pulau Kongsu Barat	35
6	106,6119882	-5,8701747	Spot Muara Karang	33
7	106,597102	-5,86560437	Pulau Tengah	33
8	106,5823463	-5,86371094	Pulau Burung	34

Lampiran 5. Data Pengukuran pH

No.	Koordinat x	Koordinat y	Titik Lokasi	pH
1	106,6177338	-5,86031584	Pantai Kresek	7,8
2	106,6112047	-5,86566966	Pantai Bintang	7,7
3	106,6230876	-5,85359092	Pantai Perawan	7,7
4	106,6159709	-5,85535376	Pulau Kongsu Timur	7,6
5	106,6040228	-5,85202395	Pulau Kongsu Barat	7,6
6	106,6119882	-5,8701747	Spot Muara Karang	8,1
7	106,597102	-5,86560437	Pulau Tengah	7,8
8	106,5823463	-5,86371094	Pulau Burung	8



Lampiran 6. Tabel Validasi Karang Hidup

Titik Validasi Karang Hidup			
FID	POINT_X	POINT_Y	Keterangan
1	106,6299	-5,85085	Karang Mati
2	106,6298	-5,85016	Karang Hidup
3	106,6316	-5,85027	Karang Hidup
4	106,6336	-5,85073	Karang Hidup
5	106,6348	-5,85168	Karang Hidup
6	106,6379	-5,85427	Karang Mati
7	106,6366	-5,85245	Karang Mati
8	106,6233	-5,85024	Karang Hidup
9	106,6194	-5,85035	Karang Hidup
10	106,6246	-5,85833	Karang Hidup
11	106,6337	-5,85709	Karang Hidup
12	106,619	-5,86205	Karang Mati
13	106,6129	-5,86954	Karang Hidup
14	106,6144	-5,86805	Karang Hidup
15	106,613	-5,85835	Lamun/Algae
16	106,6081	-5,85245	Karang Hidup
17	106,5991	-5,85972	Karang Hidup
18	106,5997	-5,85811	Karang Hidup
19	106,604	-5,85091	Karang Hidup
20	106,5957	-5,86769	Karang Hidup
21	106,6026	-5,84948	Karang Hidup
22	106,6082	-5,8712	Karang Hidup
23	106,6057	-5,87323	Karang Mati
24	106,6003	-5,86454	Karang Hidup
25	106,5965	-5,86259	Pasir
26	106,5955	-5,854	Karang Hidup
27	106,5919	-5,86347	Pasir
28	106,5869	-5,85091	Karang Hidup
29	106,5844	-5,86138	Karang Hidup

Lampiran 7. Tabel Validasi Karang Mati

Titik Validasi Karang Mati/Rubble			
FID	POINT_X	POINT_Y	Keterangan
0	106,6247	-5,85069	Lamun/Algae
1	106,6271	-5,851	Karang Mati
2	106,6294	-5,85046	Karang Mati
3	106,6337	-5,85184	Karang Mati
4	106,6364	-5,85382	Karang Mati
5	106,6205	-5,85081	Lamun/Algae
6	106,633	-5,85528	Lamun/Algae
7	106,6295	-5,85676	Karang Mati

Titik Validasi Karang Mati/Rubble			
FID	POINT_X	POINT_Y	Keterangan
8	106,6177	-5,86324	Karang Mati
9	106,6157	-5,85379	Karang Mati
10	106,6111	-5,85663	Karang Mati
11	106,6104	-5,85225	Karang Hidup
12	106,6124	-5,85903	Karang Mati
13	106,6025	-5,85068	Karang Mati
14	106,5977	-5,85922	Karang Mati
15	106,613	-5,86794	Karang Mati
16	106,6064	-5,86779	Karang Mati
17	106,6043	-5,87331	Karang Mati
18	106,5987	-5,8708	Karang Mati
19	106,6034	-5,86455	Karang Mati
20	106,5839	-5,8618	Karang Mati
21	106,5918	-5,86569	Karang Mati
22	106,5929	-5,86397	Karang Hidup
23	106,6266	-5,85286	Karang Mati

Lampiran 8. Tabel Validasi Lamun

Titik Validasi Lamun			
FID	POINT_X	POINT_Y	Keterangan
0	106,6118	-5,86498	Karang Mati
1	106,6136	-5,86342	Lamun
2	106,6129	-5,85604	Lamun
3	106,6226	-5,85403	Lamun
4	106,6168	-5,85598	Lamun
5	106,6294	-5,85196	Karang Mati
6	106,6135	-5,86601	Karang Mati
7	106,614	-5,86854	Lamun
8	106,6322	-5,85546	Lamun
9	106,6369	-5,85474	Lamun
10	106,6169	-5,85338	Lamun
11	106,6015	-5,85351	Lamun
12	106,6117	-5,86129	Lamun
13	106,6074	-5,86614	Lamun
14	106,61	-5,87055	Karang Mati
15	106,6017	-5,87126	Lamun
16	106,5978	-5,85725	Lamun
17	106,5987	-5,86906	Lamun
18	106,5807	-5,86338	Lamun
19	106,5905	-5,86103	Lamun
20	106,5973	-5,86038	Lamun
21	106,5928	-5,86639	Lamun

Titik Validasi Lamun			
FID	POINT_X	POINT_Y	Keterangan
22	106,6184	-5,86097	Lamun

Lampiran 9. Tabel Validasi Pasir

Titik Validasi Pasir			
FID	POINT_X	POINT_Y	Keterangan
0	106,6337	-5,85424	Pasir
1	106,6319	-5,85252	Lamun/Algae
2	106,6299	-5,85313	Pasir
3	106,6279	-5,85187	Pasir
4	106,6235	-5,85195	Pasir
5	106,6199	-5,85203	Pasir
6	106,6259	-5,85701	Pasir
7	106,623	-5,85814	Pasir
8	106,6173	-5,86166	Lamun/Algae
9	106,6152	-5,85266	Pasir
10	106,6079	-5,85406	Pasir
11	106,6139	-5,86483	Pasir
12	106,6114	-5,86722	Pasir
13	106,6048	-5,87138	Pasir
14	106,6028	-5,8537	Pasir
15	106,6116	-5,85311	Pasir
16	106,6034	-5,86924	Pasir
17	106,5971	-5,85793	Pasir
18	106,5984	-5,86162	Pasir
19	106,5981	-5,86829	Pasir
20	106,6103	-5,85882	Pasir
21	106,5834	-5,86347	Pasir
22	106,5935	-5,86549	Pasir
23	106,5912	-5,86138	Pasir
24	106,5987	-5,85055	Pasir