

**PEMODELAN PENDUGAAN KELIMPAHAN IKAN
LEMURU (*Sardinella lemuru*, Bleeker 1853) DI
SELAT BALI MENGGUNAKAN PENDEKATAN
VARIASI IKLIM DAN DINAMIKA OSEANOGRAFI**

DISERTASI



Oleh
ADI WIJAYA
NIM. 177080100111004

**PROGRAM DOKTOR ILMU PERIKANAN DAN KELAUTAN
MINAT PENGELOLAAN PESISIR DAN LAUT**

**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG
2021**

**PEMODELAN PENDUGAAN KELIMPAHAN IKAN
LEMURU (*Sardinella lemuru*, Bleeker 1853) DI
SELAT BALI MENGGUNAKAN PENDEKATAN
VARIASI IKLIM DAN DINAMIKA OSEANOGRAFI**

DISERTASI

Untuk Memenuhi Syarat
Memperoleh Gelar Doktor



Oleh
ADI WIJAYA
NIM. 17708010011004

**PROGRAM DOKTOR ILMU PERIKANAN DAN KELAUTAN
MINAT PENGELOLAAN PESISIR DAN LAUT**

**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2021

DISERTASI

PEMODELAN PENDUGAAN KELIMPAHAN IKAN LEMURU (*Sardinella lemuru*, Bleeker 1853) DI SELAT BALI MENGGUNAKAN PENDEKATAN VARIASI IKLIM DAN DINAMIKA OSEANOGRAFI

Oleh
ADI WIJAYA
NIM. 177080100111004

Dipertahankan di depan penguji
pada tanggal: 08 Desember 2021
dan dinyatakan memenuhi syarat

Komisi Pembimbing
Promotor



Dr. Ir. Daduk Setyohadi, MP
NIP. 196306081987031003
Tanggal: 10 Desember 2021

Ko-Promotor 1



Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.Pi., MT
NIP. 197807172005021004
Tanggal: 10 Desember 2021

Ko-Promotor 2



Dr. Ir. Umi Zakiyah, M.Si
NIP. 196103031986022001
Tanggal: 10 Desember 2021

Mengetahui,

Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Universitas Brawijaya



Prof. Dr. Ir. Maftuch, M.Si
NIP. 196608251992031001
Tanggal: 10 Desember 2021

IDENTITAS TIM PROMOTOR DAN PENGUJI

JUDUL DISERTASI : Pemodelan Pendugaan Kelimpahan Ikan Lemuru (*Sardinella lemuru*, Bleeker 1853) di Selat Bali Menggunakan Pendekatan Variasi Iklim dan Dinamika Oseanografi

Nama Mahasiswa : Adi Wijaya

NIM : 177080100111004

Program Studi : Ilmu Perikanan dan Kelautan

Minat : Pengelolaan Pesisir dan Laut

KOMISI PEMBIMBING

Promotor : Dr. Ir. Daduk Setyohadi, MP

Ko-Promotor : Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.Pi., MT

Ko-Promotor : Dr. Ir. Umi Zakiyah, M. Si

KOMISI PENGUJI

Dosen Penguji I : Ir. Aida Sartimbul, M.Sc., Ph. D

Dosen Penguji II : Dr. Ir. Gatut Bintoro, M. Sc

Dosen Penguji III : Prof. Dr. Sugeng Utaya, M. Si

Dosen Penguji Tamu : Dr. ing. Widodo Setiyo Pranowo, M.Si

Tanggal Ujian Disertasi : 08 Desember 2021

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Disertasi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 08 Desember 2021

Mahasiswa



ADI WIJAYA

NIM. 177080100111004

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



SURAT KETERANGAN HASIL DETEKSI PLAGIASI

DocuSign Envelope ID: 87D9B43C-B07F-48DD-B6FC-9B98D786EE1E



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA BADAN PENERBITAN JURNAL

JL. Veteran Malang 65145 Telp. +62341 553512; Fax. +62341 557837

Email : jfmr@ub.ac.id <https://jfmr.ub.ac.id>

SURAT KETERANGAN HASIL DETEKSI PLAGIASI

Nomor : 384/UN10.F06.08/PP/2021

Berdasarkan hasil pemindaian atas nama :

Nama	: Adi Wijaya
NIP	: 177080100111004
Program Studi	: Doktor Ilmu Perikanan dan Kelautan
Judul	: Pemodelan Pendugaan Kelimpahan Ikan Lemuru (<i>Sardinella lemuru</i> , Bleeker 1853) di Selat Bali Menggunakan Pendekatan Variasi Iklim dan Dinamika Oseanografi

Dengan ini kami sampaikan bahwa kami telah melakukan deteksi plagiasi disertasi tersebut diatas dengan basis data online melalui perangkat lunak Turnitin dan menghasilkan persentase kemiripan 5%.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebaik-baiknya.

Malang, 16 November 2021

Ketua Badan Penerbitan Jurnal



Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.Pi., M.T.

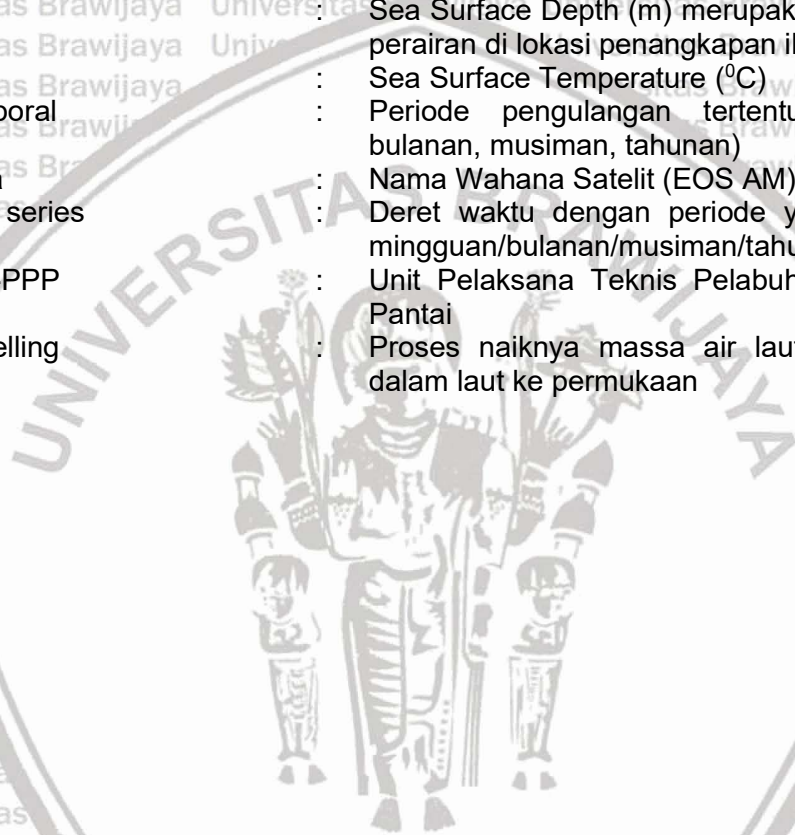
NIP. 197807172 200502 1 004



DAFTAR ISTILAH, SINGKATAN, DAN DEFINISI

Anomali	:	Merupakan selisih antara rerata bulanan kondisi lingkungan dikurangi rerata klimatologi
Aqua	:	Nama Wahana Satelit Aqua (EOS PM)
ARLINDO	:	Arus Lintas Indonesia
Arus Eddy	:	Arus melingkar yang terpisah dari arus utama
Arus ekman	:	Arus lapisan permukaan laut yang ditimbulkan oleh pergerakan angin
Bathymetry	:	Kedalaman perairan laut (meter)
Cropping	:	Pemotongan citra sesuai dengan batas-batas yang diinginkan/ditentukan
ENSO	:	El Nino Southern Oscillation
Fishing ground	:	Lokasi yang diduga sebagai tempat berkumpulnya ikan
Front	:	Pertemuan Dua Massa air yang berbeda
GAM	:	<i>Generalized Additive Model</i>
Geografis	:	Lokasi berdasarkan koordinat posisi
Ikan pelagis	:	Jenis ikan yang hidup, berenang dan mencari makan di lapisan permukaan laut
IMP	:	Indeks Musim Penangkapan
IODM	:	Indian Ocean Dipole Mode
Klorofil-a	:	Kandungan hijau daun pada fitoplankton
MODIS	:	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
Monsun	:	Angin yang berubah tiap setengah tahun, karena adanya perbedaan pemanasan antara belahan bumi utara dan belahan bumi selatan
Musim barat	:	Musim yang didominasi oleh angin dari arah barat biasanya terjadi pada bulan Desember-Februari (DJF)
Musim peralihan pertama	:	Musim yang merupakan transisi dari musim barat ke musim timur, dengan arah dan kecepatan angin yang berubah-ubah, terjadi pada bulan Maret-Mei (MAM)
Musim peralihan dua	:	Musim yang merupakan transisi dari musim timur ke musim barat, dengan arah dan kecepatan angin yang berubah-ubah, biasanya terjadi pada bulan september-november (SON)
Musim timur	:	Musim yang didominasi oleh angin dari arah timur, biasanya terjadi pada bulan Juni-Agustus (JJA)
PAR	:	Photosynthetically Available Radiation ($\text{Einstein/m}^2/\text{day}$)
Penginderaan jauh	:	Ilmu dan seni untuk mendapatkan data atau fenomena suatu objek dengan bantuan alat tanpa menyentuh objek yang diamati
PIC	:	Particulate Inorganic Carbon (mol/m^3)

Piksel (pixel)	:	Ukuran gambar terkecil yang dapat diamati dan dinyatakan dalam ukuran satuan dalam citra penginderaan jauh, misalnya untuk citra Aqua/Terra MODIS Level 1 harian adalah 1 km x 1 km
POC	:	Particulate Organic Carbon (mg/m ³)
PPN	:	Pelabuhan Perikanan Nusantara
Purse seine	:	Jenis jaring ikan yang dikenal dengan nama pukot cincin
<i>Sardinella lemuru</i>	:	Jenis ikan lemuru di Selat Bali
Spasial	:	Ukuran luas tertentu berkorelasi dengan posisi koordinat
SSC	:	Sea Surface Chlorophyll Concentration (mg/m ³)
SSD	:	Sea Surface Depth (m) merupakan kedalaman perairan di lokasi penangkapan ikan
SST	:	Sea Surface Temperature (°C)
Temporal	:	Periode pengulangan tertentu (mingguan, bulanan, musiman, tahunan)
Terra	:	Nama Wahana Satelit (EOS AM)
Time series	:	Deret waktu dengan periode yang berbeda, mingguan/bulanan/musiman/tahunan
UPT-PPP	:	Unit Pelaksana Teknis Pelabuhan Perikanan Pantai
Upwelling	:	Proses naiknya massa air laut dari lapisan dalam laut ke permukaan



DAFTAR ISI

Halaman

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI i

SURAT KETERANGAN HASIL DETEKSI PLAGIASI ii

RIWAYAT HIDUP iii

UCAPAN TERIMA KASIH iv

KATA PENGANTAR v

DAFTAR ISTILAH, SINGKATAN, DAN DEFINISI vi

DAFTAR ISI viii

DAFTAR TABEL x

DAFTAR GAMBAR xi

RINGKASAN xiii

SUMMARY xiv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah Penelitian 3

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Sumberdaya Ikan Lemuru 5

2.2 Variasi Iklim 11

 2.2.1 El Nino Southern Oscillation (ENSO) 11

 2.2.2 Indian Ocean Dipole Mode (IOD) 12

2.3 Kondisi Oseanografi Selat Bali 13

2.4 Teknologi Penginderaan Jauh Kelautan 15

2.5 Pemodelan Pendugaan Sumberdaya Ikan 17

BAB III KERANGKA PENELITIAN 20

3.1 Kerangka Konsep Penelitian 20

3.2 Kerangka Operasional Penelitian 21

3.3 Hipotesis 22

BAB IV METODE PENELITIAN 24

4.1 Lokasi dan Waktu Penelitian 24

4.2 Tahapan Penelitian 24

4.3 Bahan dan Alat 25

4.4 Perolehan Data 26

4.5 Pengolahan Data 27

 4.5.1 Pengolahan data citra satelit 27

 4.5.2 Pengolahan data anomali 29

 4.5.3 Pengolahan data ikan lemuru 29

 4.5.4 Pengolahan data Lapangan 30

4.6 Analisis 33

 4.6.1 *Empirical orthogonal function (EOF)* 33

 4.6.2 *Principal component analysis (PCA)* 35

 4.6.3 *Generalized additive model (GAM)* 36



BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 38

5.1 Pengaruh variasi iklim dan dinamika oseanografi secara spasial-temporal di Selat Bali 38

5.2 Penentuan parameter utama variasi iklim dan dinamika oseanografi untuk pendugaan ikan lemuru Selat Bali 57

5.3 Model pendugaan kelimpahan ikan lemuru Selat Bali 65

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 74

6.1 Kesimpulan 74

6.2 Kebaruan 75

6.3 Saran 75

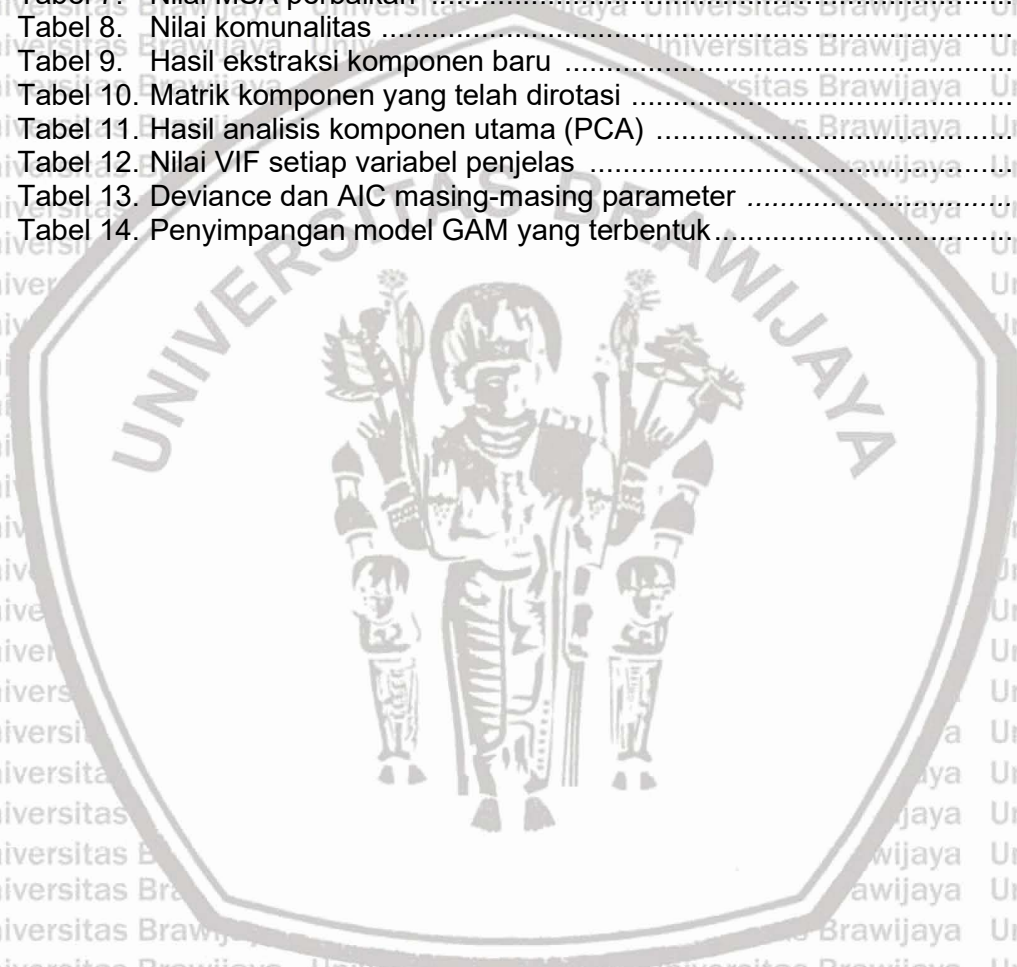
DAFTAR PUSTAKA 77



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1.	Spesifikasi teknis sensor MODIS	17
Tabel 2.	Pengembangan model prediksi daerah penangkapan ikan	18
Tabel 3.	Jenis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian	27
Tabel 4.	Klasifikasi dari El Nino/La Nina dan IOD dari tahun 2000-2019 berdasarkan data indeks NINO 3.4 dan DMI	48
Tabel 5.	Koefisien korelasi variasi iklim dan mode EOF	54
Tabel 6.	Nilai MSA dari matriks anti-image	60
Tabel 7.	Nilai MSA perbaikan	60
Tabel 8.	Nilai komunalitas	61
Tabel 9.	Hasil ekstraksi komponen baru	62
Tabel 10.	Matrik komponen yang telah dirotasi	62
Tabel 11.	Hasil analisis komponen utama (PCA)	65
Tabel 12.	Nilai VIF setiap variabel penjelas	65
Tabel 13.	Deviance dan AIC masing-masing parameter	67
Tabel 14.	Penyimpangan model GAM yang terbentuk	69



DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1. Indeks pilihan makanan ikan lemuru berdasarkan ukuran (Pertami, *et al.*, 2019a) 6

Gambar 2. IMP ikan lemuru di perairan Selat Bali (Wijaya, *et al.*, 2020b) 6

Gambar 3. Pola sebaran ukuran Ikan Lemuru yang tertangkap di Selat Bali menurut musim: (a) timur 2010; (b) peralihan timur-barat 2010; (c) barat 2011; (d) peralihan barat-timur 2011; (e) timur 2011; (f) peralihan timur-barat 2011; dan (g) awal musim barat (Desember 2011). (Wudianto, dan Wujdi, A., 2014)..... 8

Gambar 4. Peta kedalaman perairan Selat Bali (Wudianto., 2001) 13

Gambar 5. Distribusi SST dan SSC di Samudra Hindia Selatan Jawa dan Selat Bali. (a. SST Musim Barat (DJF), b. SST Musim Timur (JJA), c. Klorofil-a Musim Barat (DJF), d. SSC Musim Timur (JJA) periode 2007-2017) (Sukresno, *et al.*, 2018) 14

Gambar 6. Hubungan antara variasi iklim dengan distribusi dan kelimpahan ikan lemuru, dinamika oseanografi fisik, dan ketersediaan makanan 21

Gambar 7. Kerangka operasional penelitian 23

Gambar 8. Peta lokasi penelitian 24

Gambar 9. Alur tahap penelitian 26

Gambar 10. Variabilitas rerata bulanan (a) Suhu, (b) Salinitas, dan (c) Konsentrasi klorofil-a 39

Gambar 11. Variabilitas rerata bulanan (a) pH, (b) Nitrat, dan (c) Fosfat 40

Gambar 12. Komposisi fitoplankton di Selat Bali berdasarkan musim 41

Gambar 13. Indeks kualitas komunitas fitoplankton: (a) Diversitas, (b) Keragaman, dan (c) Dominasi 42

Gambar 14. Komposisi zooplankton di Selat Bali berdasarkan musim 43

Gambar 15. Indeks kualitas komunitas zooplankton: (a) Diversitas, (b) Keragaman, dan (c) Dominasi 44

Gambar 16. Korelasi antar parameter hasil pengukuran lapangan 45

Gambar 17. Grafik regresi data lapangan dan sensor satelit 46

Gambar 18. Korelasi antar parameter dari citra satelit 46

Gambar 19. Variabilitas parameter oseanografi (SST, SSC, POC, PIC dan PAR) 47

Gambar 20. Anomali data oseanografi (a) SST, (b) SSC, (c) POC, (d) PIC, (e) PAR, dan (f) ENSO dan DMI 50

Gambar 21. Pola spasial dari mode EOF yang terbentuk (a) SST, (b) SSC, (c) POC, (d) PIC, dan (e) PAR 53

Gambar 22. Komponen utama (garis merah, hijau dan biru) untuk mode EOF dari (a) SST, (b) SSC, (c) POC, (d) PIC, dan (e) PAR. Deret waktu DMI (Garis hitam) ditampilkan pada setiap panel 55

Gambar 23. Komponen utama (garis merah, hijau dan biru) untuk mode EOF dari (a) SST, (b) SSC, (c) POC, (d) PIC, dan (e) PAR. Deret waktu ENSO (Garis hitam) ditampilkan pada setiap panel 56



Gambar 24. Fluktuasi CPUE ikan lemuru di TPI Selat Bali 57

Gambar 25. Perkembangan hasil tangkapan ikan lemuru per trip di Selat Bali 58

Gambar 26. Hubungan CPUE dengan Effort di Selat Bali 58

Gambar 27. Diagram *scatterplot* pembentukan komponen 62

Gambar 28. Plot analisis komponen utama berdasarkan parameter oseanografi dan variasi iklim 64

Gambar 29. Plot menunjukkan variasi parameter lingkungan (a) SST, (b) SSC, (c) PAR, dan (d) SD rerata bulanan dari data satelit 65

Gambar 30. Diagram hasil tangkapan ikan lemuru (ton) dengan parameter oseanografi (a) SST ($^{\circ}\text{C}$), (b) SSC (mg/m^3), (c) PAR ($\text{E}/\text{m}^2/\text{d}^1$), dan (d) SSD (m) 66

Gambar 31. Efek yang diturunkan GAM dari variabel oseanografi PAR, SSC, SST, dan SD pada hasil tangkapan Ikan Lemuru 68

Gambar 32. Prediksi kesesuaian raster yang dihasilkan ikan lemuru 71

Gambar 33. Plot sebaran pengumpulan data bulanan yang diamati dengan diprediksi ($P < 0,001$, $r^2 = 0,8162$) 72



RINGKASAN

ADI WIJAYA. **Pemodelan Pendugaan Kelimpahan Ikan Lemuru (*Sardinella lemuru*, Bleeker 1853) di Selat Bali menggunakan Pendekatan Variasi Iklim dan Dinamika Oseanografi.** Dibimbing oleh Dr. Daduk Setyohadi, Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, dan Dr. Umi Zakiyah

Selat Bali dengan produktivitas perairan tinggi akibat fenomena upwelling yang terjadi secara musiman. Perairan Selat Bali ditemukan adanya variasi interannual seperti *El Nino Southern Oscillation (ENSO)* dan *Indian Ocean Dipole Mode (IODM)*, secara tidak langsung mempengaruhi dinamika oseanografi. Variasi musim, ENSO dan IODM mempengaruhi variabilitas oseanografi dan kelimpahan sumberdaya perikanan khususnya ikan lemuru. Kelimpahan dan penyebaran ikan lemuru dipengaruhi dinamika perairan dan variasi iklim. Penelitian ini bertujuan menganalisis variasi iklim terhadap dinamika oseanografi; menentukan parameter utama variasi iklim dan dinamika oseanografi terhadap kelimpahan ikan lemuru; dan menemukan model pendugaan kelimpahan ikan lemuru di Selat Bali. Data penelitian menggunakan data komposit harian menjadi bulanan, data logbook penangkapan ikan lemuru dari pelabuhan perikanan dan hasil survei Balai Riset dan Observasi Laut. Data kondisi perairan diperoleh dari satelit Aqua/Terra MODIS meliputi *sea surface chlorophyll (SSC)*, *sea surface temperature (SST)*, *photosynthetically available radiation (PAR)*, *particulate inorganic carbon (PIC)*, *particulate organic carbon (POC)*, dan data kedalaman (*sea surface depth-SSD*) dari GEBCO. Analisis data menggunakan *Empirical Orthogonal Function (EOF)*, *Principal Component Analysis (PCA)*, dan *Generalized Additive Model (GAM)*.

Hasil analisis EOF menggambarkan variabilitas spasial SST dan PAR mempunyai varian > 80%, secara temporal lebih luas dan kuat pengaruhnya. Parameter SSC, dan POC menunjukkan varian < 80% dan > 50%, menggambarkan variabilitasnya relatif tinggi di sepanjang pantai. Parameter PIC dengan varian < 50% menunjukkan pengaruh yang rendah terhadap dinamika dan variabilitas di perairan Selat Bali. Variasi temporal pada setiap komponen utama dari mode EOF memperlihatkan deret waktu SST, SSC dan POC mengikuti siklus musiman dan IOD, sedangkan PAR dan PIC mengikuti pola ENSO. Korelasi cukup kuat (+) parameter SST, dan kuat (-) parameter SSC dan POC terhadap DMI, sedangkan korelasi kuat (+) parameter PIC dan kuat (-) parameter PAR terhadap ENSO. Komponen utama dinamika oseanografi dan variasi iklim terhadap kelimpahan ikan lemuru menghasilkan 68,21% dari keragaman total. Pembentukan komponen baru menghasilkan komponen 'Dinamika Samudra Hindia' pada variabel SST, SSC, POC dan IOD; dan komponen 'Variasi iklim Samudra Pasifik' pada variabel PAR dan ENSO yang mempengaruhi kelimpahan ikan lemuru. Model pendugaan kelimpahan ikan lemuru merupakan kombinasi matematik dari parameter PAR, SSD, SST, dan SSC, dari persamaan GAM yang menunjukkan kecocokan 82% dengan lokasi prediksi potensial tangkapan.

Kata kunci: Dinamika Oseanografi; Ikan lemuru; Pemodelan; Selat Bali; Variasi Iklim.

SUMMARY

ADI WIJAYA. **Climate Variation and Oceanographic Dynamic Based Abundance Assessment of Sardine (*Sardinella lemuru*, Bleeker 1853) in the Bali Strait.** Supervised by Dr. Daduk Setyohadi, Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, and Dr. Umi Zakiyah

Bali Strait with high water productivity due to the upwelling phenomenon that occurs seasonally. In the waters of the Bali Strait, interannual variations such as El Nino Southern Oscillation (ENSO) and Indian Ocean Dipole Mode (IODM) are found, which indirectly affect oceanographic dynamics. Seasonal variations, ENSO and IODM affect oceanographic variability and abundance of fishery resources, especially lemuru. The abundance and distribution of lemuru fish are influenced by water dynamics and climate variations. This study aims to analyze climate variations on oceanographic dynamics; determine the main parameters of climate variation and oceanographic dynamics on the abundance of lemuru fish, and find a model for estimating the abundance of lemuru fish in the Bali Strait. The research data use composite data from daily to monthly, logbook data for lemuru fishing from fishing ports and survey results from the Research and Marine Observation Center. Water condition data obtained from the Aqua/Terra MODIS satellite include sea surface chlorophyll (SSC), sea surface temperature (SST), photosynthetically available radiation (PAR), particulate inorganic carbon (PIC), particulate organic carbon (POC), and depth data (sea surface depth-SSD) from GEBCO. Data analysis used Empirical Orthogonal Function (EOF), Principal Component Analysis (PCA), and Generalized Additive Model (GAM).

The results of the EOF analysis describe the spatial variability of SST and PAR having a variance $> 80\%$, temporally wider and having a stronger effect. Parameters SSC, and POC showed variance $< 80\%$ and $> 50\%$, reflecting the relatively high variability along the coast. The PIC parameter with $< 50\%$ variance shows a low influence on the dynamics and variability in the waters of the Bali Strait. Temporal variations in each major component of the EOF mode show that the SST, SSC and POC time series follow seasonal cycles and IOD, while PAR and PIC follow the ENSO pattern. The correlation is quite strong (+) for the SST parameter, and strong (-) for the SSC and POC parameters on DMI, while the correlation is strong (+) for the PIC parameter and strong (-) for the PAR parameter for ENSO. The main components of oceanographic dynamics and climatic variations on the abundance of lemuru fish resulted in 68.21% of the total diversity. The formation of the new component resulted in the 'Indian Ocean Dynamics' component on the variables SST, SSC, POC and IOD; and the 'Pacific Ocean climate variation' component on the PAR and ENSO variables that affect the abundance of lemuru. The lemuru abundance estimation model is a mathematical combination of the PAR, SSD, SST, and SSC parameters, from the GAM equation which shows an 82% match with the predicted potential catch location.

Keywords: Bali strait; Climate Variations; Sardine; Modeling; Oceanographic Dynamics.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perairan Selatan Jawa dipengaruhi oleh interaksi laut dan atmosfer seperti *Monsoon*, *Madden Julian Oscillation* (MJO), *El Nino Southern Oscillation* (ENSO),

Indian Ocean Dipole Mode (IODM) dan sistem arus lintas Indonesia (ARLINDO).

Fenomena tersebut mempengaruhi dinamika oseanografi di suatu perairan (Kunarso, *et al.*, 2011; Nuryanto, 2012; Habibie, M.N., dan Nuraini, T.A., 2014).

Dinamika oseanografi berperan penting dalam proses transfer energi (Syahailatua, A., 2008; Iskandar, *et al.*, 2010; Gordon, *et al.*, 2010), yang terlihat

dari anomali suhu permukaan laut, sehingga stratifikasinya terlihat lebih jelas di

Perairan Selatan Jawa (Gordon, 2005). Dampak dinamika oseanografi di bidang

perikanan memberikan pengaruh terhadap daerah *ruaya*, dan *fish-school*,

terutama pada jenis ikan yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan

suhu (Ningsih, *et al.*, 2018).

Selat Bali bagian dari sistem Samudra Hindia Selatan Jawa memiliki

potensi sumberdaya perikanan tangkap tinggi khususnya ikan lemuru (Sartimbul,

et al., 2017). Ikan lemuru yang nama latin *Sardinella lemuru*, Bleeker 1853 (Merta,

1994; Suwarso, *et al.*, 2004), merupakan jenis ikan pelagis yang menyumbang

40% produksi ikan di Perairan Indonesia (Merta, 1994), dan 90% dari total

tangkapan ikan pelagis di Selat Bali (Merta, *et al.*, 2004; Hendiarti, *et al.*, 2005).

Penangkapan ikan lemuru Selat Bali menggunakan pukat cincin, dengan

pendaratan di Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP) Muncar dan Pelabuhan

Perikanan Nusantara (PPN) Pengambangan (Suwarso, *et al.*, 2004).

Penangkapan ikan lemuru menggunakan metode “one day fishing”, dimana kapal penangkapan berangkat sore dan kembali pagi harinya (Merta *et al.*, 1999).

Produksi ikan lemuru berfluktuasi dari waktu ke waktu dipengaruhi oleh produktivitas primer perairan (Sartimbul, *et al.*, 2010; Ningsih, *et al.*, 2013; Ratnawati, *et al.*, 2016). Ikan lemuru merupakan ikan pemakan plankton (Parulian, *et al.*, 2018; Pertami, *et al.*, 2019a), tersebar pada kedalaman antara 50 hingga 60 meter (Jaya, 2002), dan Juvenile di perairan dangkal (Susilo, 2015; Suniada, *et al.*, 2018). Pergerakan ikan lemuru di kolom air, sebagai upaya menemukan kondisi lingkungan yang optimum dalam metabolismenya (Sartimbul, *et al.*, 2010; Amri, *et al.*, 2014; Suniada, *et al.*, 2018). Ikan lemuru termasuk dalam kelompok ikan sardine, memiliki rantai makanan yang berhubungan langsung dengan fitoplankton dan zooplankton (Herawati, *et al.*, 2014; Parulian, *et al.*, 2018; Pertami, *et al.*, 2019a). Fitoplankton sebagai komponen dasar rantai makanan laut, karena kemampuannya berfotosintesis (Robinson, 2010; Alvain, *et al.*, 2010). Pigmen fitoplankton yang berperan penting dalam fotosintesis adalah klorofil-a (Robinson, 2010), dimana dapat menjelaskan biomassa fitoplankton di badan air (Alvain *et al.*, 2010).

Informasi distribusi biomassa fitoplankton skala ruang dan waktu, dan variabel oseanografi dalam penelitian ini menggunakan data sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). Kemampuan sensor MODIS yang bekerja pada gelombang inframerah dekat, memungkinkan menyediakan informasi suhu permukaan laut (Robinson, 2010; Alvain, *et al.*, 2010). Pengembangan sensor MODIS, selain data konsentrasi klorofil-a dan suhu permukaan laut, juga menghasilkan data *particulate organic carbon* (POC), *photosynthetically active radiation* (PAR), dan *particulate inorganic carbon* (PIC)

untuk memahami siklus biogeokimia dan produktivitas primer badan air (Alvain, *et al.*, 2005; Hoepffner *et al.*, 2008).

Berdasarkan kondisi di atas bahwa sumber makanan ikan lemuru, dapat dideteksi oleh sensor MODIS melalui konsentrasi klorofil-a pada fitoplankton (Solomonson, *et al.*, 2006; Robinson, 2010; Sambah, *et al.*, 2012). Hubungan konsentrasi klorofil-a dengan peningkatan produksi ikan lemuru telah diketahui, dimana produksi tangkapan meningkat bersamaan dengan terjadi peningkatan konsentrasi klorofil-a (Susilo, 2015; Susilo, dan Wibawa, 2016; Sartimbul, *et al.*, 2018). Penelitian ini menghasilkan model pendugaan kelimpahan ikan lemuru berdasarkan dinamika oseanografi dan variasi iklim. Pemantauan variasi iklim dan dinamika oseanografi diperlukan guna mengetahui pergeseran kondisi lingkungan secara spasial dan temporal. Hasil pemodelan ini dapat dijadikan acuan pengelolaan sumberdaya ikan lestari di Selat Bali.

1.2 Perumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan uraian di atas, permasalahan penelitian sebagai berikut:

- 1) Bagaimana variasi iklim mempengaruhi dinamika oseanografi di Selat Bali?
- 2) Bagaimana penentuan parameter utama variasi iklim dan dinamika oseanografi terhadap pendugaan kelimpahan ikan lemuru Selat Bali?
- 3) Bagaimana pemodelan pendugaan kelimpahan ikan lemuru Selat Bali?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah di atas, maka tujuan penelitian sebagai berikut:

- 1) Menganalisis variasi iklim terhadap dinamika oseanografi di Selat Bali.

- 2) Menentukan parameter utama variasi iklim dan dinamika oseanografi untuk pendugaan kelimpahan ikan lemuru Selat Bali.
- 3) Menemukan model pendugaan kelimpahan ikan lemuru Selat Bali.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1) Manfaat Teoritis:

- a. Penelitian ini dapat berkontribusi dalam perencanaan, pengelolaan dan pengembangan sumberdaya perikanan yang berkelanjutan berdasarkan informasi variasi iklim dan dinamika oseanografi.
- b. Penelitian ini menghasilkan model pendugaan kelimpahan ikan lemuru, sehingga diperoleh informasi yang lebih baik, efektivitas dan efisiensi dalam pemanfaatan sumberdaya perikanan.

2) Manfaat Praktis

- a. Penelitian ini berkontribusi memberikan pemahaman terhadap variasi iklim dan dinamika oseanografis dalam produksi perikanan, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dan alternatif pengembangan metode pengelolaan sumberdaya perikanan.
- b. Pendekatan lingkungan dengan penggabungan variasi iklim dan dinamika oseanografi dalam membuat model prediksi kelimpahan ikan mempunyai manfaat langsung terhadap strategi pengelolaan perikanan tangkap.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

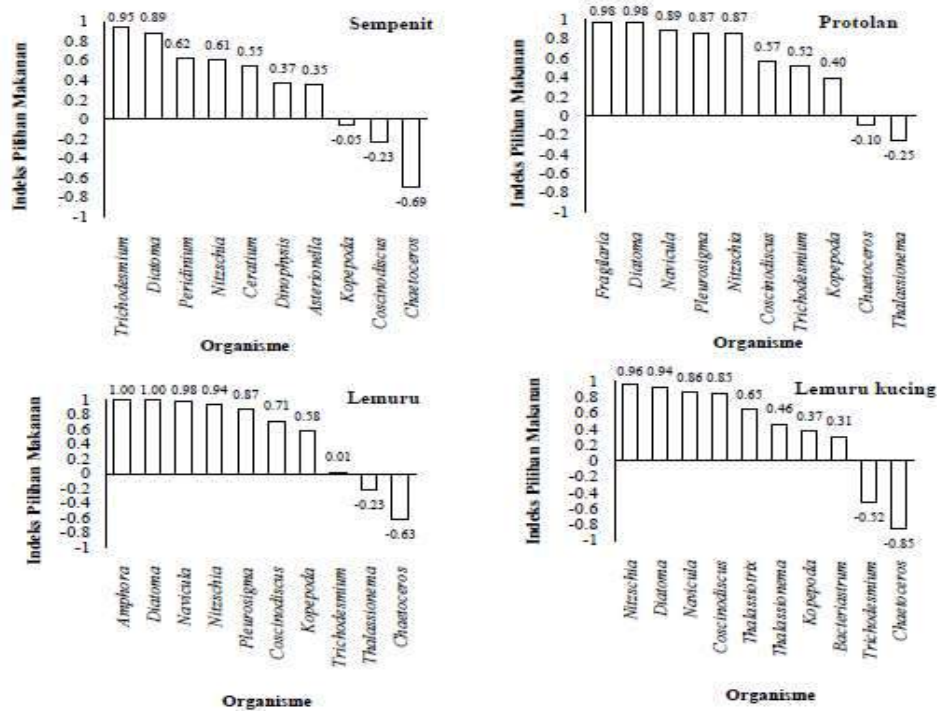
2.1 Sumberdaya Ikan Lemuru

Ikan Lemuru merupakan sumberdaya perikanan yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Kondisi lingkungan habitat ikan lemuru di perairan memiliki suhu air laut yang relatif hangat, kebiasaan berenang bergerombol, di siang hari berenang ke kedalaman dan malam hari berenang ke arah permukaan.

Kemunculan dan migrasi ikan lemuru dipengaruhi oleh adanya distribusi makanan, proses memijah dan mencari tempat aman. Ikan lemuru merupakan jenis ikan planktivora, dengan makanan utama berupa fitoplankton dari kelas Cyanophyceae dan Bacillariophyceae (Pertami, *et al.*, 2019a). Jenis organisme yang dimakan berubah-ubah sesuai dengan musim dan ukuran. Makanannya terbagi menjadi dua golongan yaitu zooplankton dan fitoplankton. Zooplankton menduduki prosentasi yang tinggi daripada fitoplankton. Komposisi utama isi perut *Ikan Lemuru* adalah 90,5-95,5 % zooplankton dan 4,5-9,5 % *phytoplankton* (Khasanah, *et al.*, 2013; Pertami, *et al.*, 2019a). Kebiasaan makanan cenderung mengalami perubahan menurut kelompok umur, ukuran, waktu, dan lingkungan yang mempengaruhi ketersediaan makanan (Gambar 1).

Ketersediaan sumber makanan di suatu perairan menghasilkan interaksi antara ikan lemuru dengan plankton. Komposisi isi lambung ikan lemuru ditemukan 92% fitoplankton dan 8% zooplankton (musim peralihan II-SON), 83% zooplankton dan 17% fitoplankton (musim barat-DJF), fitoplankton didominasi oleh *Rhizosolenia stolterfothii* (musim peralihan I-MAM) dan zooplankton didominasi jenis *Paraeuchaeta norvegica* (musim timur-JJA) (Khasanah, *et al.*, 2013; Agustiadi, *et al.*, 2013; Susilo, E., dan Pancawati, Y., 2014; Pertami, *et al.*, 2019a). Kondisi musim dan lokasi penangkapan berhubungan erat dengan migrasi ikan.

Puncak musim penangkapan ikan lemuru diindikasikan dengan IMP (Indeks Musim Penangkapan) dimana IMP tertinggi (268%) terjadi di bulan november dan terendah di bulan Juni (IMP: 26%) (Wijaya, *et al.*, 2020b). Nilai IMP rerata menunjukkan musim penangkapan mengikuti pola monsun (Simbolon, *et al.*, 2011; Wijaya, *et al.*, 2020b) (Gambar 2).



Gambar 1. Indeks pilihan makanan ikan lemuru berdasarkan ukuran (Pertami, *et al.*, 2019a)

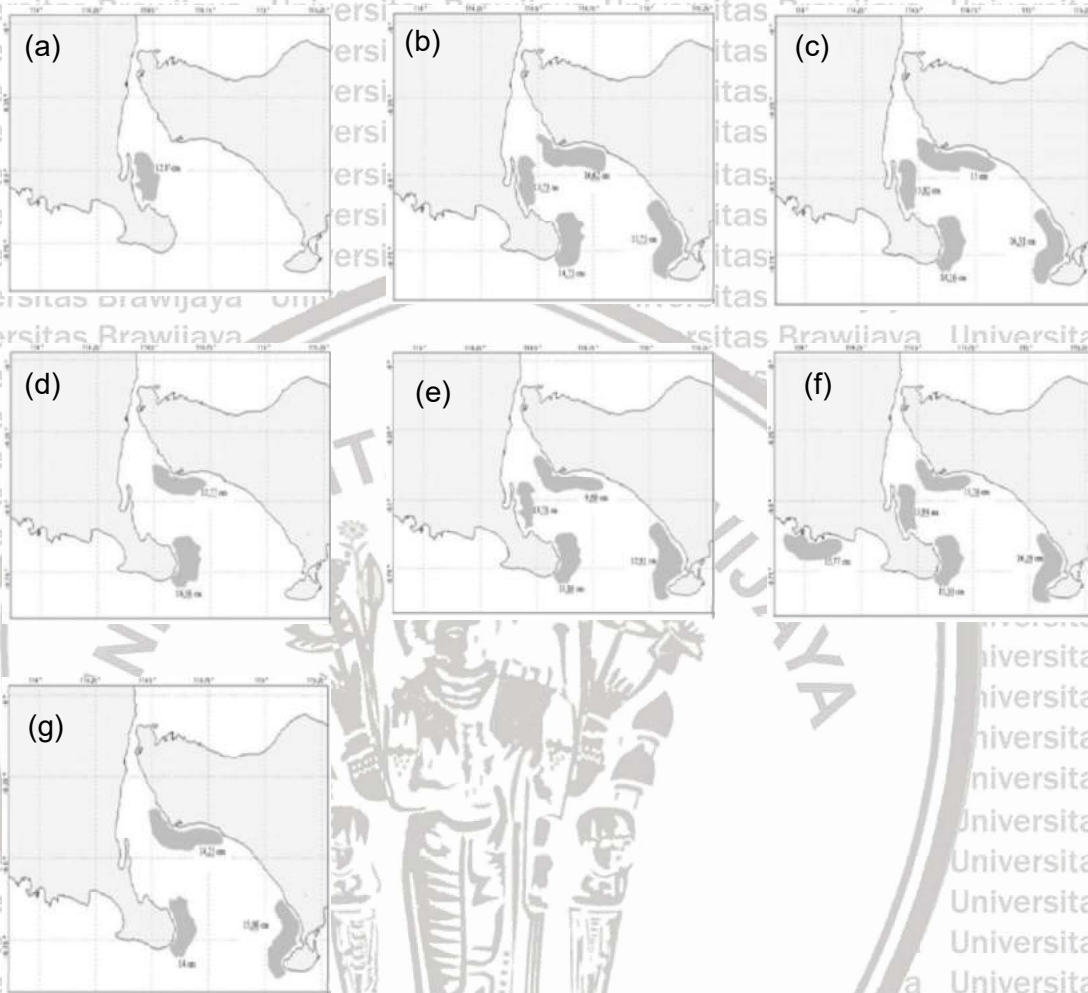


Gambar 2. IMP ikan lemuru di perairan Selat Bali (Wijaya, *et al.*, 2020b).

Tingkat keberhasilan operasi penangkapan diperlukan informasi pola musim penangkapan, sehingga dapat mengurangi resiko kerugian. Pola musim penangkapan sering tidak sesuai, karena adanya variasi dan perubahan iklim. Dampak nyata dari variasi dan perubahan iklim terhadap produksi ikan lemuru, diketahui pada tahun terjadinya El Nino menghasilkan produksi yang sangat tinggi dari pada tahun anti El Nino (Wijaya, *et al.*, 2020a). Ukuran yang tertangkap menunjukkan pola dan variasi di setiap zona dan musim penangkapan. Hasil kajian yang dilakukan Wudianto dan Wujdi (2014), diketahui zona dan ukuran ikan tertangkap (Gambar 3a-g), dimana pada musim timur (JJA) rerata ikan yang tertangkap dengan ukuran panjang cagak (Lc-50%) dan terkecil 12,94 cm. Musim peralihan II (SON) ukuran panjang tersebut berkembang menjadi 14,37 cm dan meningkat pada musim barat (DJF) menjadi 15,43 cm, sedangkan musim peralihan I (MAM) ukuran panjang cagak mengalami penurunan rerata menjadi 13,06 cm.

Perbandingan ukuran ikan yang tertangkap pada musim timur, ikan lemuru berukuran rerata lebih kecil di Zona I dan II (Paparan Jawa), dari pada Zona V dan VI (Paparan Bali). Ukuran ikan lemuru yang tertangkap masuk pada kelompok portolan kecuali Zona V di dominasi oleh kelompok sempenit. Musim peralihan II (SON) memiliki ukuran rerata ikan lemuru tertangkap lebih besar dibandingkan pada musim timur (Wudianto, *et al.*, 2002; Wudianto dan Wujdi, 2014). Rerata ukuran panjang ikan lemuru tertangkap yang lebih besar di Zona VI dan perluasan wilayah penangkapan sampai ke Samudra Hindia. Pada awal musim barat (DJF) rerata ukuran ikan lemuru tertangkap lebih kecil daripada ikan yang tertangkap pada musim peralihan timur ke barat (SON). Ukuran ikan yang tertangkap di Zona I menurun dari 15,50 di musim peralihan II (SON) menjadi 14 cm di awal musim

barat (DJF), sedangkan pada Zona V dan VI merata ukuran yang tertangkap menurun (Wudianto dan Wujdi, 2014).



Gambar 3. Pola sebaran ukuran ikan lemuru yang tertangkap di Selat Bali menurut musim: (a) timur 2010; (b) peralihan timur-barat 2010; (c) barat 2011; (d) peralihan barat-timur 2011; (e) timur 2011; (f) peralihan timur-barat 2011; dan (g) awal musim barat (Desember 2011). (Wudianto dan Wujdi, 2014)

Siklus dan pola hidup ikan lemuru berhubungan dengan kondisi lingkungan perairan dan fluktuasinya. Interaksi faktor lingkungan dengan ikan lemuru senantiasa mengalami perubahan. Faktor lingkungan yang mempengaruhi antara lain fisika, kimia dan biologi perairan. Kondisi lingkungan keberadaan sumberdaya perikanan dibatas oleh suhu dan kesuburan perairan (Setyohadi, 2011). Ikan



lemuru tergolong jenis ikan permukaan (*pelagic fish*), yang tertarik akan cahaya (*phototaxis positif*), sehingga mudah berkumpul. Cahaya secara umum dapat mengetahui aktivitas maupun gerak renang ikan. Gerombolan ikan lemuru di Selat Bali ditemukan pada kedalaman 20-80 m (Jaya, 2002; Sujianto, 2003; Fauziyah dan Jaya, 2004), di lapisan *eufotik* yang kaya zat hara dan tidak mampu menentang arus di lapisan dekat dasar. Interaksi faktor lingkungan ikan sangat kompleks, dimana faktor lingkungan cepat berubah. Faktor lingkungan fisik (suhu, salinitas, cahaya dan arus) dapat diamati lebih mudah dari pada faktor kimia dan biologi dalam mempengaruhi pergerakan ikan dan organisme perairan.

a. Suhu air laut

Suhu perairan dapat mencirikan massa air di perairan, karena mempunyai hubungan erat dengan keadaan lapisan air laut di bawahnya. Informasi suhu permukaan laut diperlukan dalam melihat fenomena *front*, arus, *upwelling* dan aktivitas biota (Robinson, 2010). Suhu permukaan perairan di Indonesia antara 28–31 °C, tinggi rendahnya dipengaruhi letak geografis dalam menerima panas matahari. Suhu tertinggi di bulan April hingga Mei dan terendah bulan Desember hingga Januari. Pola angin, musim dan curah hujan mempengaruhi suhu permukaan laut (Susilo, *et al.*, 2015; Pertamina, *et al.*, 2019b). Daerah subtropis perubahan suhu perairan berakibat pada densitas populasi ikan di perairan (Ningsih, *et al.*, 2018). Pergerakan ikan pelagis cenderung mencari suhu yang sesuai, untuk dapat tumbuh, beraktifitas dan mobilitas gerakan, ruaya, penyebaran dan kelimpahan, penggerombolan, maturasi, fekunditas dan pemijahan, masa inkubasi dan penetasan telur serta kemampuan larva ikan untuk bertahan hidup (Amri, 2014).

Perubahan suhu perairan menyebabkan penurunan aktivitas gerak, makan, dan menghambat proses pemijahan. Ukuran ikan dan usia ikan yang

bertambah, ada kecenderungan menyukai dan mencari perairan dengan suhu rendah di dalam perairan (Sartimbul, *et al.*, 2017). Pendugaan lokasi penangkapan ikan memperhatikan: a) suhu optimum; b) pengamatan hidrografi dan meteorologi; c) prediksi perubahan keadaan hidrografi. Analisis suhu optimum dari jenis ikan tidak hanya penting dalam mengetahui keberadaan dan tingkah lakunya, akan tetapi secara tidak langsung mengindikasikan fenomena lain seperti *upwelling*, *front*, arus, percampuran massa air, dan perbatasan arus (Robinson, 2010; Susilo, *et al.*, 2015; Syah, *et al.*, 2019).

b. Produktivitas perairan

Biomassa fitoplankton menunjukkan hubungan erat antara produktivitas primer dengan klorofil-a. Pergerakan fitoplankton dipengaruhi kondisi lingkungan sekitar karena sebagai tumbuhan mikroskopis hidupnya melayang, hanyut, dan mampu berfotosintesis, sehingga dengan adanya tumbuhan planktonik menandakan adanya kehidupan di laut (Herawati, *et al.*, 2014). Fitoplankton menjadi dasar dari mata rantai makanan, keberadaannya di laut sangat bergantung pada kondisi lingkungan perairan seperti cahaya matahari, suhu, dan nutrisi.

a) Cahaya matahari

Cahaya matahari mutlak diperlukan untuk reaksi fotosintesis. Cahaya matahari yang jatuh ke permukaan laut berupa radiasi gelombang elektromagnetik, panjang gelombangnya antara 300 hingga 2500 nm (1 nanometer = 10^{-9} m), atau pada spektrum sinar ultraviolet hingga infra merah (Robinson, 2010). Spektrum panjang gelombang ditangkap oleh klorofil hanya radiasi pada gelombang 400 hingga 720 nm, yang dikenal dengan *Photosynthetically Active Radiation* (PAR) (Robinson, 2010; Fauziah, *et al.*, 2019).

b) Suhu

Proses fotosintesis di laut dipengaruhi oleh suhu baik secara langsung, maupun tidak. Pengaruh langsung adalah reaksi kimia enzimatik yang berperan dalam proses fotosintesis, dimana terjadi peningkatan suhu diikuti peningkatan laju fotosintesis. Pengaruh tidak langsung suhu menentukan struktur hidrologis perairan dimana fitoplankton berada (Sartimbul, *et al.*, 2010). Fitoplankton berkembang secara optimal di kisaran suhu 20–30 °C (Rintaka, *et al.*, 2014).

c) Nutrien

Unsur yang diperlukan untuk pertumbuhan fitoplankton terdiri dari unsur hara makro dan mikro. Unsur hara makro (*macronutrient*) dibutuhkan dalam jumlah relatif besar, sedangkan unsur hara mikro (*micronutrient*) sangat kecil untuk pertumbuhan alga fitoplankton (Fauziah, *et al.*, 2019). Pasokan nutrient tinggi dari daratan melalui *run-off* sungai yang berakibat tingginya konsentrasi klorofil-a di perairan pantai dan pesisir, sedangkan di perairan lepas pantai rendah disebabkan suplai nutrient tidak ada. Akan tetapi, sering ditemui di lepas pantai konsentrasi klorofil-a tinggi, sebagai akibat proses *upwelling* di perairan tersebut (Susilo dan Pancawati, 2014).

2.2 Variasi Iklim

2.2.1 El Nino Southern Oscillation (ENSO)

El Nino bagian dari Osilasi Selatan (*Southern Oscillation*), yang mempunyai pola bolak-balik tekanan udara di atas permukaan laut (sea level pressure) antara Pasifik Tropis bagian timur (Tahiti) dan barat (Darwin). Fenomena ENSO dibangkitkan oleh interaksi dalam skala besar antara laut dan atmosfer (Gordon, 2005; Gordon, *et al.*, 2010). Penurunan gradien tekanan diikuti oleh

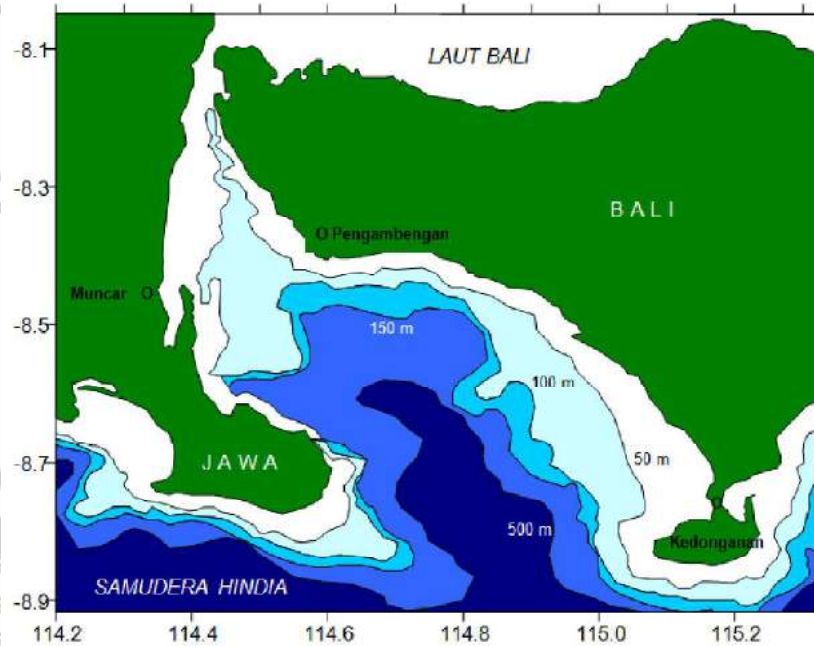
pelemahan aliran di lintang rendah bagian timur. Kejadian El Nino, mengakibatkan angin pasat timur mengalami pelemahan, air hangat tersebar ke arah timur menyebabkan kondisi abnormal, sirkulasi konvektif bergeser ke Pasifik bagian tengah dan mempengaruhi *thermocline* khususnya di Pasifik bagian timur menjadi lebih dalam dibandingkan kondisi normal (Gordon, 2005). Disisi lain, pada saat La Nina kondisi air hangat terkumpul di bagian barat Pasifik, diikuti oleh naiknya *thermocline* di bagian timur dan menjadi semakin dalam di bagian barat. Selama terjadi La Nina sirkulasi konvektif terkumpul di bagian barat. Hubungan antara *southern oscillation* dan El Nino terhadap anomali SST di wilayah Indonesia, berkorelasi kuat dan memiliki siklus tahunan (Hendiarti, et al., 2005; Gordon, 2005).

2.2.2 Indian Ocean Dipole Mode (IOD)

IOD sebagai fenomena dari interaksi laut dengan atmosfer di Samudra Hindia, ditandai dengan penurunan SST secara ekstrim di Samudra Hindia ekuatorial bagian timur-selatan dan peningkatan SST secara ekstrim di bagian barat. Hasil analisis Saji, et al., (1999) ditemukan di Samudra Hindia terdapat osilasi klimatologis, berdasarkan data pengamatan suhu permukaan laut selama 40 tahun. Pola yang terjadi adalah adanya variabilitas internal dengan anomali SST negatif di lepas pantai Sumatera dan Samudra Hindia bagian barat dengan anomali positif yang disertai dengan anomali angin dan presipitasi. Proses interaksi atmosfer-laut yang unik di Samudra Hindia, dan terlihat berdiri sendiri. Pada saat IODM terjadi, terjadi curah hujan yang tinggi di atas Afrika dan di Indonesia kekeringan (Saji, et al., 1999).

2.3 Kondisi Oseanografi Selat Bali

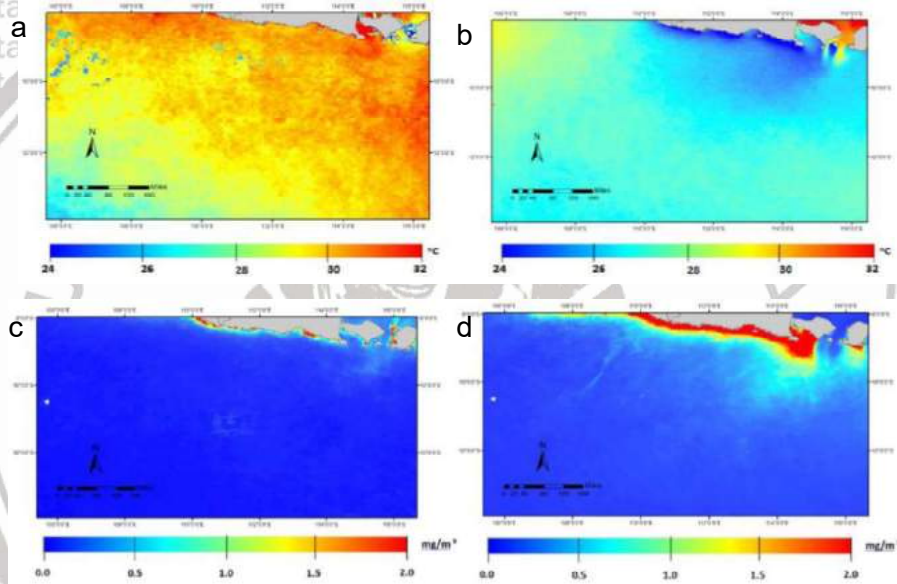
Selat Bali merupakan wilayah perairan yang memisahkan antara Pulau Jawa dengan Bali, dengan luas perairan sekitar 2.500 km². Bentuk Selat Bali menyerupai corong, dangkal di bagian utara dan menghadap Laut Jawa, serta dalam dibagian selatan menghadap ke Samudra Hindia (Berlinaty and Yanagi, 2011). Kedalaman rerata dibagian utara sekitar 50-meter dan lebar 2,5 km, sedangkan di bagian selatan kedalaman antara 400-1.400-meter dan lebar 55 km (Gambar 4) (Wudianto, 2001; Jaya, 2002). Kondisi batimetri mempengaruhi variasi oseanografi baik fisik, kimia maupun biologi.



Gambar 4. Peta kedalaman perairan Selat Bali (Sumber: Wudianto, 2001)

Selat Bali bagian dari Samudra Hindia yang dipengaruhi oleh sistem angin muson, sehingga perubahan kondisi perairan akan sama dengan kondisi di Samudra Hindia. Pada musim timur wilayah Samudra Hindia selatan Jawa terjadi *upwelling* ditunjukkan oleh tingginya unsur hara, akibat desakan arus Selatan Jawa dan ARLINDO (Rintaka, *et al.*, 2014; Ratnawati, *et al.*, 2016). Monsun dan

arus berperan penting dalam variabilitas faktor oseanografi di perairan Indonesia akibat adanya perbedaan tekanan udara (Ratnawati, *et al.*, 2016; Napitu, *et al.*, 2017; Ningsih, *et al.*, 2013). *Upwelling* yang berhubungan dengan tingkat kesuburan perairan, ditandai oleh produktivitas primer tinggi, akibat tiupan angin muson tenggara menyusuri pantai Selatan Jawa-Bali, sehingga terjadi gaya *Coriolis*, yang menyebabkan transport massa air permukaan dibelokkan ke tengah laut untuk mengisi kekosongan air di pesisir dari oleh massa air di lapisan dibawah (Gambar 5).



Gambar 5. Distribusi SST dan SSC di Samudra Hindia Selatan Jawa dan Selat Bali. (a. SST Musim Barat (DJF), b. SST Musim Timur (JJA), c. SSC Musim Barat (DJF), d. SSC Musim Timur (JJA) periode 2007-2017) (Sukresno *et al.* 2018)

Dinamika oseanografi selain dipengaruhi oleh monsun dan arus, juga dipengaruhi oleh variasi iklim global seperti ENSO dan IOD (Sukresno, *et al.*, 2018). Pada saat terjadi ENSO, Samudra Hindia bagian timur memiliki kecenderungan suhu permukaan laut tinggi, karena adanya pelemahan kecepatan, dan intensitas angin, sehingga terjadi pemanasan permukaan laut oleh sinar matahari. Tingginya suhu permukaan laut berakibat rendahnya intensitas

upwelling yang terjadi (Susilo, *et al.*, 2015). Pada saat terjadi IOD positif kecepatan angin berbanding terbalik pada peristiwa ENSO (Ratnawati, *et al.*, 2016). Proses *upwelling* membawa massa air dari lapisan dalam yang dingin dan kaya nutrisi ke lapisan dekat permukaan, sehingga produktivitas primer di lapisan permukaan tinggi (Agustiadi, *et al.*, 2013). Kesuburan perairan Samudra Hindia Selatan Jawa-Bali, secara tidak langsung (*indirect*) mempengaruhi kesuburan di Selat Bali yang diikuti dengan meningkatnya produksi ikan lemuru secara signifikan (Rintaka, *et al.*, 2014). Karakteristik perairan Selat Bali yang dicirikan dengan salinitas rendah, suhu dingin, klorofil tinggi, akibat pengaruh ARLINDO dan pencampuran massa air (Ningsih, *et al.*, 2013), serta interaksi antara ENSO dan IOD (Rintaka, *et al.*, 2014).

2.4 Teknologi Penginderaan Jauh Kelautan

Teknologi penginderaan jauh bidang kelautan dan perikanan berkembang pesat, mencakup pengamatan faktor-faktor oseanografi seperti parameter fisika, kimia dan biologi perairan. Data yang tersedia baik skala global maupun regional diperlukan untuk monitoring dinamika laut (Solomonson, *et al.*, 2006). Objek dipermukaan laut dapat memantulkan gelombang elektromagnetik dan membawa informasi tentang objek pengamatan. Pantulan gelombang diterima sensor yang berfungsi mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi sinyal digital untuk diteruskan ke stasiun penerima di bumi. Selama proses di udara dimungkinkan adanya gangguan atau *noise*. Data tentang fenomena laut yang diamati, diperlukan proses interpretasi data dengan teliti dan akurat (Robinson, 2010). Data-data tersebut tersedia dalam berbagai resolusi baik temporal maupun spasial, sesuai dengan karakteristik sensor satelit.

Instrumens MODIS yang terpasang pada satelit Terra (EOS AM) dan Aqua (EOS PM), merekam kondisi permukaan bumi satu sampai dua kali dalam sehari.

Satelit Aqua/Terra melakukan pemantauan bumi untuk mengumpulkan informasi siklus air dan penguapan di atmosfer, es di laut dan darat, kelembapan tanah, salju di daratan, awan, dan presipitasi. Satelit ini mengelilingi bumi bersifat polar (arah utara-selatan) dengan ketinggian 705 km, lebar cakupan sekitar 2.330 km (Solomonson, *et al.*, 2006). Pantulan gelombang elektromagnetik sebanyak 36 bands (36 interval panjang gelombang) mulai dari 0.405 sampai 14.385 μm .

Panjang gelombang yang digunakan untuk mengukur kondisi daratan dan perairan (Tabel 1). Aplikasi penginderaan jauh perikanan digunakan untuk menunjukkan posisi lokasi penangkapan ikan di perairan. Penentuan posisi penangkapan ikan secara tepat tidaklah mungkin diperoleh dari data satelit karena terpengaruhi oleh sifat dinamis dari parameter oseanografi seperti suhu permukaan laut, kekeruhan, konsentrasi klorofil, pola dan arah angin, arus dan pasang surut (Siregar dan Haryadi. 2011). Kondisi optimum lingkungan perairan sumberdaya ikan diperlukan analisis dan interpretasi data satelit terhadap parameter oseanografi. Aplikasi teknologi penginderaan jauh bersifat operasional dalam bidang perikanan, untuk penentuan lokasi ikan pelagis seperti Teri (*anchovy*), ikan layaran (*swordfish*), dan Tuna.

Pemanfaatan data Satelit Aqua/Terra MODIS sebagai alternatif dalam memberikan informasi tentang fenomena oseanografi seperti menentukan nilai distribusi suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a sebagai sumber makanan ikan (Sambah, *et al.*, 2012). Frekuensi pengamatan yang sangat tinggi dan biaya operasional lebih murah, membantu dalam pengamatan fenomena oseanografi seperti *upwelling* dan *front* yang mempengaruhi lokasi potensi ikan bisa dengan mudah dan cepat. Informasi tersebut digunakan sebagai upaya efektivitas dan efisiensi penangkapan ikan. Informasi suhu permukaan laut digunakan armada penangkapan dalam menangkap ikan salmon dan tuna, karena spesies tuna berhubungan dengan

front suhu, sedangkan ikan salmon mencari suhu dingin ke arah selatan untuk mencari makan. Kehadiran beberapa spesies dapat dihubungkan dengan informasi suhu permukaan laut.

Tabel 1 Spesifikasi teknis sensor MODIS

Fungsi Utama	Kanal	Panjang Gelombang (µm)*	Resolusi Spasial
<i>Land/Cloud/Aerosols Boundaries</i>	1	0.620 - 0.670	250 m
<i>Land/Cloud/Aerosols Properties</i>	2	0.841 - 0.876	500 m
	3	0.459 - 0.479	
	4	0.545 - 0.565	
	5	1.230 - 1.250	
	6	1.628 - 1.652	1000 m
<i>Ocean Color/ Phytoplankton / Biogeochemistry</i>	7	2.105 - 2.155	
	8	0.405 - 0.420	
	9	0.438 - 0.448	
	10	0.483 - 0.493	
	11	0.526 - 0.536	
	12	0.546 - 0.556	
<i>Atmospheric Water Vapor</i>	13	0.662 - 0.672	1000 m
	14	0.673 - 0.683	
	15	0.743 - 0.753	
	16	0.862 - 0.877	
	17	0.890 - 0.920	
	18	0.931 - 0.941	
	19	0.915 - 0.965	
<i>Surface/Cloud Temperature</i>	20	3.660 - 3.840	
	21	3.929 - 3.989	
	22	3.929 - 3.989	
<i>Atmospheric Temperature</i>	23	4.020 - 4.080	1000 m
	24	4.433 - 4.498	
	25	4.482 - 4.549	
<i>Cirrus Clouds Water Vapor</i>	26	1.360 - 1.390	
	27	6.535 - 6.895	
	28	7.175 - 7.475	
<i>Cloud Properties</i>	29	8.400 - 8.700	
<i>Ozone</i>	30	9.580 - 9.880	
<i>Surface/Cloud Temperature</i>	31	10.780 - 11.280	1000 m
	32	11.770 - 12.270	
<i>Cloud Top Altitude</i>	33	13.185 - 13.485	
	34	13.485 - 13.785	
	35	13.785 - 14.085	
	36	14.085 - 14.385	

(Sumber: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>)

2.5 Pemodelan Pendugaan Sumberdaya Ikan

Pemodelan spasial dan model statistik telah banyak digunakan untuk melakukan prediksi suatu habitat. Penelitian menggunakan analisis *Generalized*

Additive Models (GAM) untuk model statistik yang dipadukan dengan model spasial telah banyak dikembangkan. GAM sebagai perluasan dari regresi linier menggantikan fungsi linier menjadi aditif, sehingga model ini dapat digunakan meskipun hubungan variabel respon dan prediktor tidak bersifat linier.

Menggabungkan teknologi penginderaan jauh, GIS, dan model statistik dalam memprediksi daerah penangkapan ikan seperti daerah penangkapan ikan sarden di pesisir Jepang menggunakan parameter *Sea Surface Chlorophyll-a concentration* (SSC), *Sea Surface Temperature* (SST), dan kedalaman (Saitoh, *et al.*, 2008). Zainuddin, *et al.*, (2008) menggunakan data SSC, SST dan *Sea*

Surfaces High (SSH) untuk memprediksi wilayah tangkap tuna albacore Samudra Pasifik bagian Utara. Mugo, *et al.*, (2010) membangun model untuk memprediksi

daerah penangkapan cakalang di perairan Samudra Pasifik, menggunakan parameter SSC, SST, *Sea Surfaces High Anomaly* (SSHA) dan *Eddy Kinetic Energy* (EKE). Setiawati, *et al.*, (2015) melihat karakteristik tuna mata besar

Samudra Hindia Selatan Jawa dari parameter SST, SSC dan *Sea Surfaces High Deviation* (SSHD) dengan analisis GAM dan Habitat Suitability Index (HSI).

Penelitian lain yang memanfaatkan data citra satelit untuk melihat parameter oseanografi, guna memprediksi daerah penangkapan ikan berdasarkan distribusi dan kelimpahan plankton di perairan melalui rantai makan ikan terdapat dalam

Tabel 2.

Tabel 2 Pengembangan model prediksi daerah penangkapan ikan

Jenis Biota	Lokasi	Data
Albacore Tuna; Skipjack tuna ¹	Samudra Pasifik bagian Utara; Gulf of Bone-Flores Sea	SSC SST SSH
Bigeye tuna ²	Samudra Hindia Selatan Jawa	SST SSC

Jenis Biota	Lokasi	Data
		SSHD
Cakalang ³	Samudra Pasifik	SSC
		SST
		SSHA
		EKE
Sardine ⁴	Pesisir Jepang	SSC
		SST
		Kedalaman
Bigeye Tuna ⁵	Samudra Hindia Selatan Jawa-Bali	SSC
		SST
		SSHA
		EKE
Diatom ⁶	Selat Bali	SSC
		Photosynthetically available radiation (PAR)
Zooplankton ⁷	Selat Bali	SSC
		SST
		PAR

Sumber: ¹⁾ Zainuddin, *et al.*, (2006; 2008; 2017); ²⁾ Setiawati, *et al.*, (2015); ³⁾ Mugo, *et al.*, (2010); ⁴⁾ Saitoh, *et al.*, (2008); ⁵⁾ Wibawa, 2011; ⁶⁾ Wibawa (2012); ⁷⁾ Susilo, *et al.*, (2015)



BAB III KERANGKA PENELITIAN

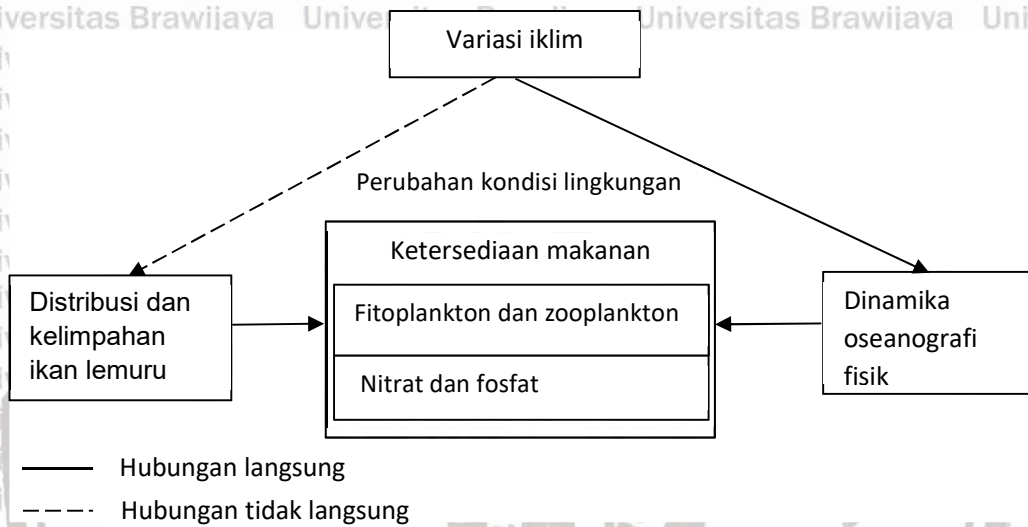
3.1 Kerangka Konsep Penelitian

Variasi iklim berdampak pada peningkatan suhu udara dan permukaan laut, serta memberikan pengaruh terhadap aspek kelautan dan perikanan.

Dampak yang timbul dari variasi iklim ada secara langsung dan tidak langsung terhadap respon sumberdaya perikanan dan dinamika perairan. Dampak tidak langsung terjadi peningkatan suhu udara berimplikasi pada tingginya suhu permukaan laut dan paras muka laut. Peningkatan suhu permukaan laut mempengaruhi tekanan udara di atmosfer dan pola sirkulasi air laut. Dampak langsung bagi masyarakat nelayan berpengaruh terhadap lingkungan keberadaan ikan dan kerentanan kawasan ekosistem pesisir. Variasi iklim dapat diketahui melalui analisis anomali suhu permukaan laut di Samudra Pasifik dan Hindia, anomali angin di equatorial, sehingga perlu di observasi dan pemantauan kondisi tersebut dengan cepat, akurat dan berkelanjutan, guna melakukan langkah adaptasi terhadap dampak yang ditimbulkan.

Penentuan kelimpahan sumberdaya perikanan khususnya ikan lemuru diperlukan data yang berhubungan dengan variabilitas oseanografi secara lengkap dan akurat. Keberadaan dan kelimpahan ikan lemuru berhubungan dengan ketersediaan sumber makanan (fitoplankton dan zooplankton) dan dinamika oseanografi seperti *Sea Surface Temperature* (SST), *Sea Surface Chlorophyll-a concentration* (SSC), *Photosynthetically Active Radiation* (PAR), *Particulate Organic Carbon* (POC), *Particulate Inorganic Carbon* (PIC), dan *Sea Surface Depth* (SSD). Dinamika oseanografi berubah menurut ruang dan waktu, serta berhubungan dengan sistem muson dan variasi iklim global (ENSO dan IOD) (Gambar 6). Ketersediaan sumber makanan diperairan berhubungan secara

langsung dengan sistem muson dan variasi iklim. Guna melihat kondisi lingkungan perairan yang dinamis diperlukan data oseanografi hasil pengukuran lapangan yang kontinyu. Penyediaan data pengukuran yang kontinyu saat ini, menggunakan teknologi penginderaan jauh dalam penyediaan data oseanografi guna mengkaji kelimpahan sumberdaya perikanan.



Gambar 6. Hubungan antara variasi iklim dengan distribusi dan kelimpahan ikan lemuru, dinamika oseanografi fisik, dan ketersediaan makanan

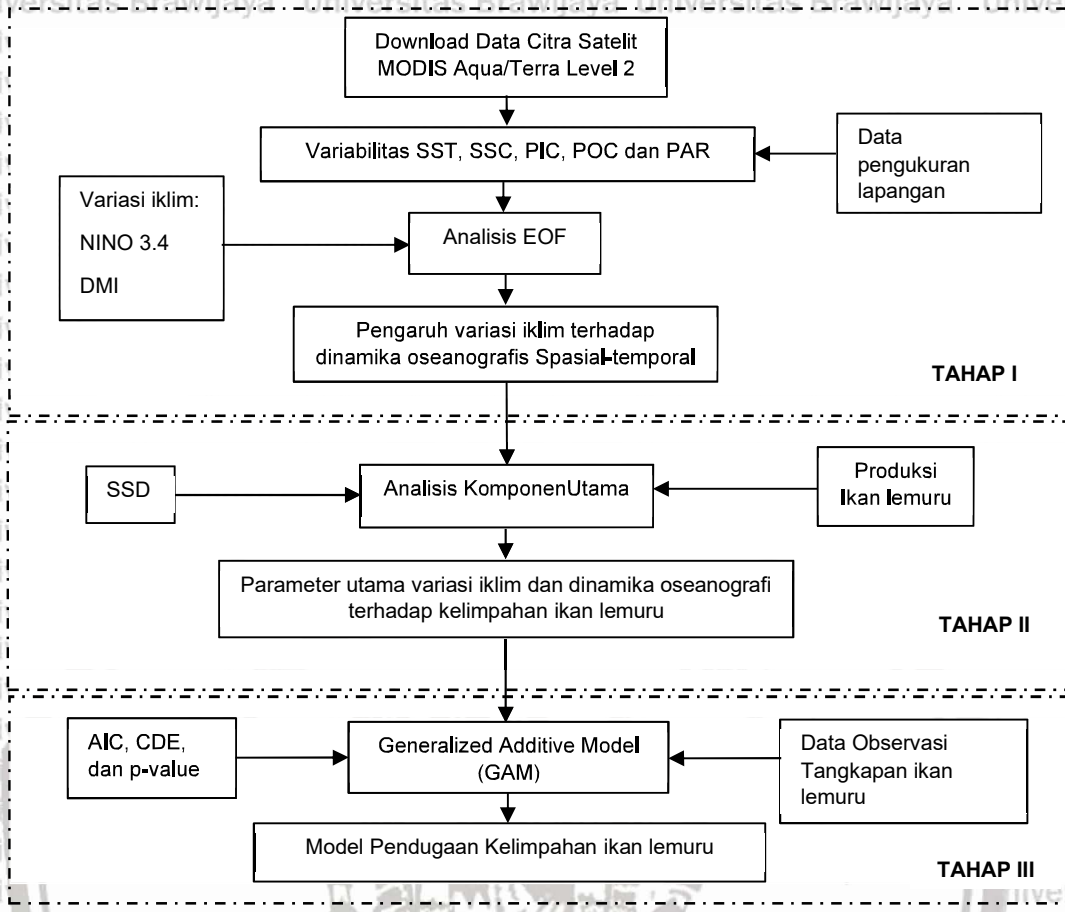
3.2 Kerangka Operasional Penelitian

Penelitian ini menggunakan parameter lingkungan baik secara fisik, dan biologi terhadap kelimpahan ikan lemuru. Parameter fisik dan biologi digunakan data pengukuran dari satelit Aqua/Terra MODIS yang menghasilkan informasi SST, SSC, POC, PIC, PAR, dan SSD dari GEBCO. Variasi iklim menggunakan data anomali suhu permukaan laut di Samudra Pasifik (ENSO) dan Samudra Hindia (IOD). Kelimpahan ikan lemuru menggunakan data produksi bulanan dan harian dari kapal penangkapan di Pelabuhan Perikanan Selat Bali. Penelitian ini terbagi dalam tiga tahapan yang saling terkait. Tahap 1 merupakan kegiatan pengunduhan data Satelit level 2 harian Aqua/Terra MODIS dan menganalisis

karakteristik dinamika oseanografi secara spasial dan temporal. Tahap ini menjawab pertanyaan penelitian pertama tentang pengaruh variasi iklim terhadap dinamika oseanografi menggunakan analisis *Empirical Orthogonal Function* (EOF) dan korelasi *Pearson*. Hasil pada tahap ini memberikan informasi pengaruh variasi iklim terhadap dinamika oseanografi di Selat Bali. Tahap II menganalisis penentuan komponen utama variasi iklim dan dinamika oseanografi terhadap kelimpahan ikan lemuru. Tahap ini menghasilkan faktor utama dari variasi iklim dan dinamika oseanografi, yang mempengaruhi tinggi rendahnya kelimpahan ikan lemuru menggunakan metode *principal component analysis* (PCA). Tahap III penyusunan model spasial kelimpahan ikan lemuru, diawali dengan eksplorasi data antara variabel respon (jumlah ikan lemuru yang tertangkap), dengan variabel prediktor (SST, SSC, POC, PIC, PAR, SSD) menggunakan analisis GAM. Pemilihan model terbaik dari setiap persamaan yang terbentuk didasarkan pada nilai *Akaike Information Criteria* (AIC) terkecil, *Cumulative Deviance Explained* (CDE) terbesar dan tingkat signifikansi (Zagaglia, *et al.*, 2004; Wibawa 2012). Hasil berupa persamaan matematis untuk memprediksi kelimpahan ikan lemuru di Selat Bali (Gambar 7).

3.3 Hipotesis

- 1) Terdapat hubungan yang saling menguatkan antara variasi iklim dan dinamika oseanografi secara spasial-temporal.
- 2) Terdapat korelasi kelimpahan ikan lemuru dengan variasi iklim dan dinamika oseanografi yang terjadi.
- 3) Variasi iklim dan dinamika oseanografi mempengaruhi tinggi dan rendahnya kelimpahan ikan lemuru di Selat Bali.



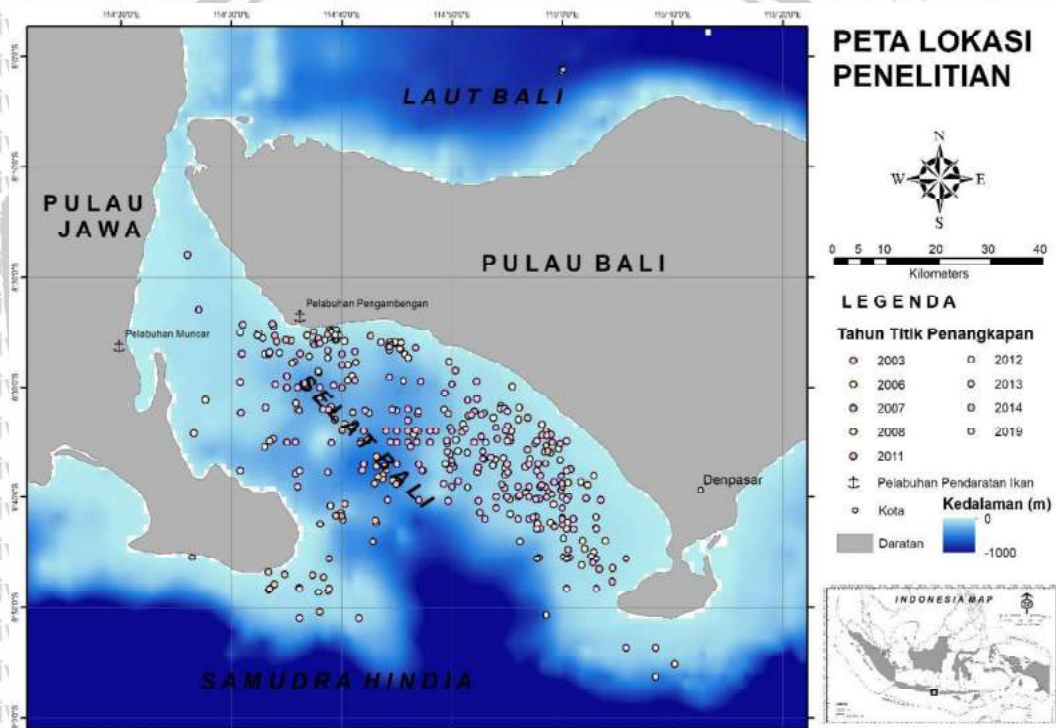
Gambar 7. Kerangka operasional penelitian



BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Selat Bali dengan batas wilayah pada koordinat $08^{\circ} 15' - 09^{\circ} 00' \text{ LS}$ dan $114^{\circ} 15' - 115^{\circ} 25' \text{ BT}$ (Gambar 8). Penelitian dilakukan secara bertahap mulai analisis data variasi iklim, dinamika oseanografi dan produksi ikan lemuru dari bulan maret 2000 sampai Desember 2019.



Gambar 8 Peta lokasi penelitian

4.2 Tahapan Penelitian

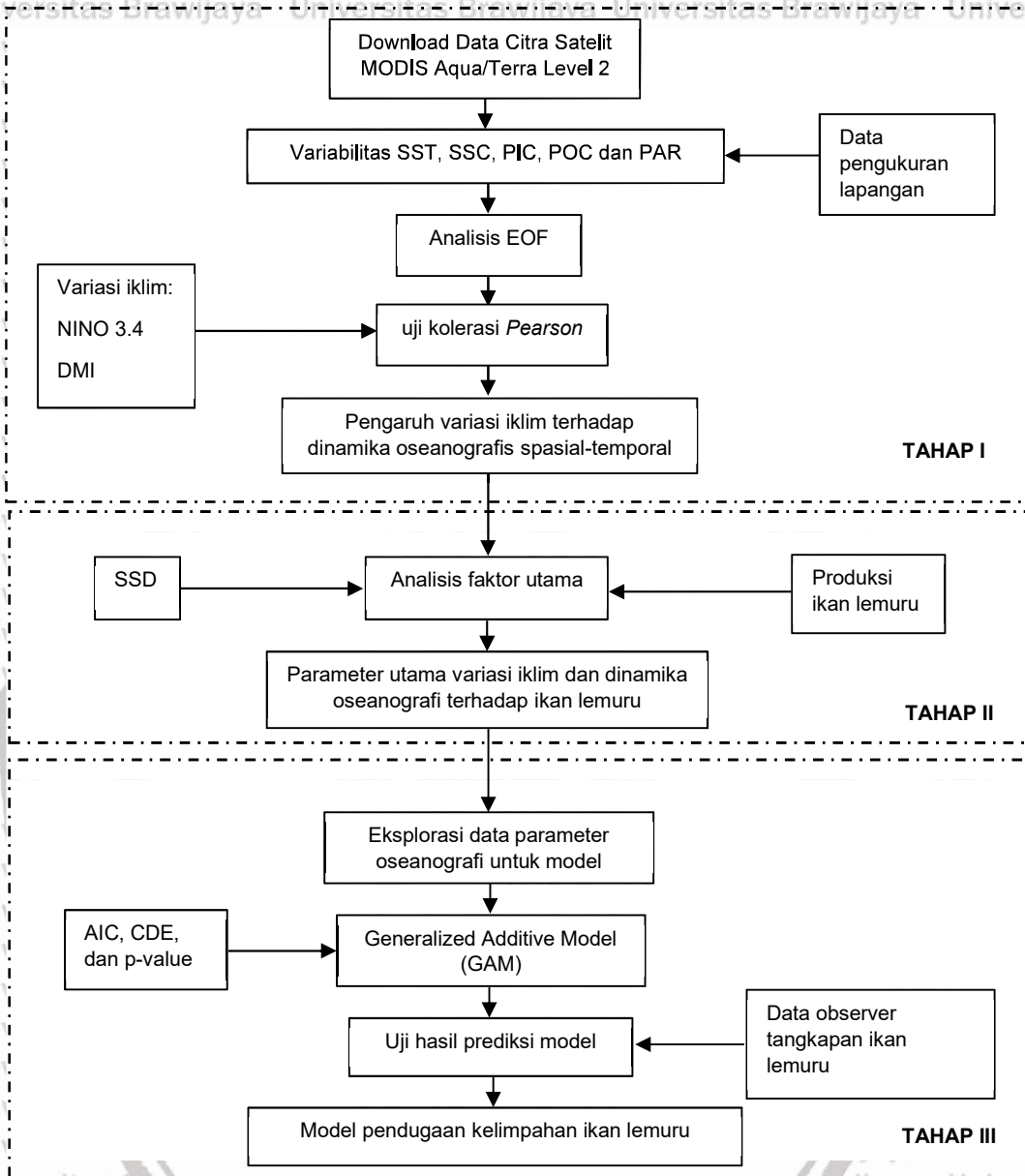
Penelitian ini terbagi dalam 3 tahapan yang saling melengkapi. Tahap I pengunduhan data Satelit level 2 Aqua/Terra MODIS wilayah Selat Bali yang diperoleh dari situs resmi NASA (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>), dan dianalisis menjadi informasi lingkungan perairan. Data variasi Iklim diperoleh pada laman

<http://origin.cpc.ncep.noaa.gov> dan data produksi ikan lemuru diperoleh di PPN Pengambangan dan PPP Muncar. Informasi yang dihasilkan dari analisis data satelit adalah informasi SST, SSC, PAR, PIC, POC untuk mengetahui pola spasial dan temporal dari variabilitas dinamika oseanografi. Analisis EOF dan uji korelasi *Pearson*, menghasilkan pengaruh variasi iklim terhadap dinamika oseanografi secara spasial dan temporal (Tujuan 1). Tahap II menganalisis parameter utama dari variasi iklim, dinamika oseanografi, dan kedalaman perairan (*sea surface depth*-SSD) di lokasi penangkapan terhadap kelimpahan ikan lemuru. Analisis parameter utama menggunakan pendekatan multivariat analisis (PCA), dihasilkan parameter utama variasi iklim dan dinamika oseanografi yang mempengaruhi tinggi-rendah kelimpahan ikan lemuru (Tujuan 2). Tahap III penyusunan model pendugaan kelimpahan ikan lemuru menggunakan model GAM. Pemilihan model terbaik menggunakan kriteria nilai AIC, CDE dan tingkat signifikansi, setelah diketahui model terbaik dilanjutkan pengujian luaran prediksi model (Tujuan 3). Secara rinci alur penelitian tersaji pada Gambar 9.

4.3 Bahan dan Alat

Bahan penelitian meliputi data satelit Aqua/Terra MODIS, pengukuran lapangan dan produksi ikan lemuru. Pengolahan data citra satelit Aqua/Terra MODIS, data lapangan, dan data tangkapan ikan lemuru digunakan perangkat keras dan lunak antara lain:

- 1) *Personal computer* (PC) yang dilengkapi dengan perangkat lunak SeaDAS, dan perangkat lunak RStudio, khusus untuk pengolahan citra satelit Aqua/Terra MODIS.
- 2) *Personal computer* (PC) yang dilengkapi dengan perangkat lunak RStudio, JASP, Excel, dan Word 2019.



Gambar 9 Alur tahap penelitian

4.4 Perolehan Data

Data parameter oseanografi dari satelit dalam bentuk *local areal coverage* (LAC) diperoleh dari laman <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>, informasi yang dihasilkan seperti SSC, SST, PAR, PIC dan POC dalam bentuk *Network common data format* (nc). Data anomali variasi iklim dari laman

<http://origin.cpc.ncep.noaa.gov>, yang menampilkan indeks NINO 3.4, dan DMI.

Data pengukuran lapangan (suhu, salinitas, pH, nitrat, fosfat, dan klorofil) yang diperoleh dari Balai Riset dan Observasi Laut (BROL). Data produksi ikan lemuru diperoleh dari PPP Muncar dan PPN Pengambangan serta data observer di kapal penangkapan dari BROL.

Tabel 3 Jenis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian

No	Faktor	Data		Sumber
		Satelit	Lapangan	
1	SST	Satelit Aqua/Terra MODIS (2000-2019)	2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2017	NASA, BROL
2	SSC	Satelit Aqua/Terra MODIS (2000-2019)	2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2017	NASA, BROL
3	PAR	Satelit Aqua/Terra MODIS (2000-2019)	-	NASA
4	PIC	Satelit Aqua/Terra MODIS (2000-2019)	-	NASA
5	POC	Satelit Aqua/Terra MODIS (2000-2019)	-	NASA
6	Ikan lemuru	-	2000-2019	PPN Pengambangan, dan PPP Muncar
7	Data observer	-	2003, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2019	BROL

4.5 Pengolahan Data

4.5.1 Pengolahan data citra satelit

Pengolahan data harian dari sensor MODIS dilakukan menggunakan aplikasi SeaDAS berbasis linux dan RStudio. Pemrosesan citra satelit Aqua/Terra MODIS harian menggunakan algoritma yang dikembangkan oleh *Ocean Biology Processing Group* (OBPG). Algoritma untuk Informasi SST sebagai berikut:

$$dBT = BT11 - BT12 \dots \dots \dots (1)$$

(a) jika $dBT \leq 0,5$, maka:

$$sst = a00 + (a01 \times BT11) + (a02 \times dBT \times bsst) + (a03 \times dBT \times ((1,0/\mu) - 1,0))$$

(b) jika $dBT \geq 0,9$, maka:

$$sst = a10 + (a11 \times BT11) + (a12 \times dBT \times bsst) + (a13 \times dBT \times ((1,0/\mu) - 1,0))$$

(c) jika $0,5 < dBT < 0,9$, maka:



$$\begin{aligned} \text{sstlo} &= a_{00} + (a_{01} \times \text{BT11}) + (a_{02} \times \text{dBT} \times \text{bsst}) + (a_{03} \times \text{dBT} \times ((1,0/\mu) - 1,0)) \\ \text{ssthi} &= a_{10} + (a_{11} \times \text{BT11}) + (a_{12} \times \text{dBT} \times \text{bsst}) + (a_{13} \times \text{dBT} \times ((1,0/\mu) - 1,0)) \\ \text{sst} &= \text{sstlo} + ((\text{dBT} - 0,5) / (0,9 - 0,5)) \times (\text{ssthi} - \text{sstlo}) \end{aligned}$$

Keterangan:

dBT : selisih suhu kecerahan pada kanal 31 dengan kanal 32 (°C)

BT11 : suhu kecerahan di 11 μm (kanal 31), dalam satuan °C

BT12 : suhu kecerahan di 12 μm (kanal 32), dalam satuan °C

sst : suhu permukaan laut/Sea Surface Temperature (°C)

bsst : baseline SST

mu : cosinus dari sensor zenith angle

sstlo : suhu permukaan laut rendah (°C)

ssthi : suhu permukaan laut tinggi (°C)

a₀₀, a₀₁, a₀₂, a₀₃, a₁₀, a₁₁, a₁₂, a₁₃: koefisien kecocokan perekaman satelit dengan pengukuran insitu suhu permukaan laut.

Algoritma untuk informasi SSC sebagai berikut:

$$\text{Log}_{10}(\text{chlor}_a) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^4 \alpha_i \text{Log}_{10} \left(\frac{R_{rs}(Y_{blue})}{R_{rs}(Y_{green})} \right) \dots (2)$$

Keterangan:

α₀ – α₄: koefisien yang nilai untuk MODIS sebesar 0,2424; -2,7423; 1,8017; 0,0015; -1,2280

Algoritma untuk informasi POC sebagai berikut:

$$\text{POC} = a * \text{pow} \left(\frac{R_{rs}(443)}{R_{rs}(547)} \right)^b \dots (3)$$

a = 203,2

b = -1,034

Algoritma untuk informasi PIC sebagai berikut:

$$\text{CI} = R_{rs} \text{ Red} - (R_{rs} \text{ Green} + (\text{wvl ratio} \times (R_{rs} \text{ NIR} - R_{rs} \text{ Green}))) \dots (4)$$

caco3 = -0,8013 x CI - 0,00076

caco3 = -1,3764 x CI - 0,00071

Algoritma untuk informasi PAR sebagai berikut:

$$\text{PAR}_{ratio} = 0,47 - 0,035 T_{550} \dots (5)$$

Informasi harian dikompositkan menjadi data rata-rata bulanan. Guna mengisi data kosong menggunakan data rata-rata klimatologis dan menghasilkan

citra yang lebih informatif. Analisis spasial data deret waktu sepanjang garis lintang atau bujur digunakan diagram hovmoller. Diagram ini untuk mempelajari variasi spasial pada koordinat bujur atau lintang setiap bulan selama waktu pengamatan.

4.5.2 Pengolahan data anomali

Data awal dan rerata musiman diplot dalam grafik deret waktu guna melihat kecenderungan. Pemrosesan data dilakukan dengan membuat rerata pada data awal. Penelitian ini rerata bulanan dan musiman ditetapkan, sampel data dilambangkan dengan \underline{X} dari kumpulan data X yang telah di ukur N dengan jarak waktu yang sama.

$$\underline{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad \dots \dots \dots (6)$$

Anomali adalah perbedaaan antara nilai yang diukur dengan nilai rerata.

$$X' = X - \underline{X} \quad \dots \dots \dots (7)$$

Nilai X' disebut sebagai penyimpangan dari nilai tengah disebut sebagai anomali.

Penelitian ini menghapus siklus musiman dari data asli yang ditetapkan dengan menghitung rerata bulanan atau musiman dari rerata keseluruhan dan kemudian menampilkan anomali relative terhadap rerata bulanan atau musiman. Kedua analisis rerata dan anomali diplot dalam grafik deret waktu menggunakan diagram hovmoller.

4.5.3 Pengolahan data ikan lemuru

Pengolahan data ikan lemuru terbagi atas produksi harian menjadi bulanan yang tercatat di Pelabuhan perikanan dan observer. Data produksi bulanan untuk melihat pola tahunan, musiman dan bulanan dari sumberdaya perikanan ikan

lemuru dalam ton dianalisis untuk melihat pola secara temporal. Data hasil tangkapan ikan lemuru harian diperoleh dari observer, yang memiliki koordinat geografis lokasi penangkapan dan jumlah tangkapan ikan lemuru dalam ton digunakan untuk analisis pembuatan dan uji akurasi model.

Pengolahan data hasil tangkapan ikan lemuru terhadap upaya tangkapan dianalisis berdasarkan *catch per unit effort* (CPUE). Data CPUE digunakan dalam menduga parameter biologi ikan. Rumus analisis CPUE menurut Noija, *et al.*, (2014), sebagai berikut:

$$CPUE_t = \text{Catch}_t / \text{Effort}_t \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

$CPUE_t$ = hasil tangkapan per upaya penangkapan pada tahun ke-t (kg/trip)

Catch_t = hasil tangkapan pada waktu t (kg)

Effort_t = upaya penangkapan pada tahun ke-t (trip)

4.5.4 Pengolahan data lapangan

Prosedur pengambilan dan pengolahan data kualitas air meliputi;

- a. Suhu; diukur menggunakan alat *Water Quality Chaker* (WQC).
- b. Salinitas; diukur menggunakan alat *Water Quality Chaker* (WQC).
- c. pH; diukur menggunakan alat *Water Quality Chaker* (WQC).
- d. Nitrat; diuji kandungan nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) dalam air laut menggunakan metode analisa Nitrat dengan Brusin secara spektrofotometri (SNI 06-2480-1991).
- e. Fosfat; diuji berdasarkan SNI 06-6989.31-2005 menggunakan spektrofotometer.
- f. Konsentrasi Klorofil-a; diambil sampel air menggunakan water sampler dan disimpan di jerigen kedap cahaya, dan dijaga agar tetap dingin. Prosedur analisa data sebagai berikut:

- 1) Penyaringan menggunakan kertas saring (*cellulose nitrate membrane filters*) 0.45µm di laboratorium.
- 2) Hasil saringan dilarutkan dalam tabung reaksi berisi 10 ml acetone 90%.
- 3) Pengukuran konsentrasi klorofil-a dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer

Persamaan untuk menghitung konsentrasi klorofil-a dengan prosedur spektrofotometer:

$$Ch_{o-a} = \frac{C_a \times V}{V_s} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

- Ch_{o-a} : Konsentrasi klorofil-a (mg/m³)
- C_a : Konsentrasi klorofil-a (mg/L)
- V : Volume ekstrak (liter)
- V_s : Volume air sample (m³)

Kandungan klorofil-a dihitung menggunakan rumus :

$$Klorofil_a(mgm^{-3}) = \frac{((11,85 \times E_{664}) - (1,54 \times E_{647}) - (0,08 \times E_{630})) \times V_e}{V_s \times d} \dots\dots\dots (10)$$

dimana :

- E₆₆₄ : absorbansi 664 nm – absorbansi 750 nm
- E₆₄₇ : absorbansi 647 nm – absorbansi 750 nm
- E₆₃₀ : absorbance 630 nm – absorbance 750 nm
- V_e : volume ekstrak acetone (ml)
- V_s : volume contoh air yang disaring (liter)
- d : lebar diameter kuvet (cm)

- g. Kelimpahan Plankton; diambil sampel plankton mengikuti prosedur SNI: 13-4717-1998. Sampel air disaring menggunakan plankton net No. 25. Hasil penyaringan disimpan dalam botol dengan volume 20 ml, kemudian ditambahkan dengan formalin 40% sebagai pengawet sampel. Pengamatan plankton menggunakan mikroskop perbesaran 100 dan 200 dengan metode



Sedgwick-Rafter. Kemudian dilakukan perhitungan indeks keanekaragaman, indeks kemerataan dan indeks dominansi.

Persamaan kelimpahan individu dalam 1-liter menggunakan sel hitung Sedgwick-Rafter:

$$N = n x \frac{1}{A} x \frac{B}{C} x \frac{D}{E} \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

- N : Jumlah individu per liter
- A : Volume air sampel yang disaring (liter)
- B : Volume air sampel yang tersaring (liter)
- C : Volume air pada Sedgwick-Rafter (liter)
- D : Luas gelas penutup (mm²)
- E : Luas lapang pandang (mm²)

Persamaan Indeks Diversitas Shannon-Wiener:

$$HH' = \sum_{t=i}^s pi x \ln(pi) \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan:

- H' : Indeks Diversitas Shannon – Wiener
- pi : ni/N
- ni : Jumlah individu jenis ke-i
- N : Jumlah total individu
- s : Jumlah genera
- H' < 1 = Komunitas biota tidak stabil atau kualitas air tercemar berat
- H' 1 – 3 = Stabilitas komunitas biota sedang atau kualitas air tercemar sedang
- H' > 3 = Stabilitas komunitas biota dalam kondisi prima (stabil) atau kualitas air bersih

Persamaan Indeks Keseragaman:

$$E = \frac{H'}{H' maks} \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan:

- E : Indeks Keseragaman
- H' maks : ln S
- H' : Indeks diversitas Shannon-Wiener
- E = 0; Keseragaman antar spesies rendah, artinya kekayaan individu yang dimiliki masing-masing spesies sangat jauh berbeda
- E = 1; Keseragaman antar spesies relatif seragam atau jumlah individu masing-masing spesies relatif sama



Persamaan untuk menghitung Indeks Dominansi

$$D = \sum_{t=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right)^2 \quad (14)$$

Keterangan:

D : Indeks Dominansi Simpson

n_i : Jumlah individu i

N : Jumlah total individu

s : Jumlah genera

D = 0; Tidak terdapat spesies yang mendominasi spesies lainnya

D = 1; Terdapat spesies yang mendominasi spesies lainnya

Data pengukuran lapangan parameter suhu, salinitas, pH, nitrat, fosfat, dan klorofil

diolah berdasarkan musiman. Data pengukuran ditampilkan dalam bentuk grafis

untuk melihat pola musim.

4.6 Analisis

4.6.1 Empirical orthogonal function (EOF)

Analisis spatial-temporal menggunakan *Empirical Orthogonal Function*

(EOF) untuk menemukan dataset variabel baru meliputi sebagian besar data

varian yang diamati melalui kombinasi linear variabel asli (Hannachi, 2004). Dasar

perhitungan EOF adalah perhitungan statistik yang mengacu pada *principal*

component analysis (PCA). Deskripsi singkat dari EOF dijabarkan sebagai berikut:

Matrik anomali kovarian didefinisikan dengan:

$$\Sigma = \frac{1}{n-1} X^T X' \quad (15)$$

yang meliputi kovarian setiap bagian dari *grid point*. Tujuannya untuk mencari

kombinasi linear dari keseluruhan variabel yang menjelaskan *maximum variance*.

Hal ini untuk mencari nilai $a = (a_1, \dots, a_p)^T$, sehingga X'_a memiliki variabilitas

maksimum. Varian dari timeseries X'_a menjadi:

$$Var(X'_a) = \frac{1}{n-1} \|X'_a\|^2 = \frac{1}{n-1} (X'_a)^T (X'_a) = a^T \Sigma a \quad (16)$$



untuk membatasi perhitungan, maka nilai a harus seragam atau *unitary*, untuk itu dilakukan:

$$(a^T \Sigma^{-1} a), s. t. a^T a = 1 \tag{17}$$

solusi formula di atas adalah *simple eigenvalue problem (EVP)*:

$$\Sigma^{-1} a = \lambda a \tag{18}$$

Persamaan EOF orde k adalah *eigenvector* a_k yang ke- k dari matrik Σ^{-1} , setelah *eigenvalue* dan *corresponding eigenvector* disederhanakan dan dikurangi ordenya. Eigenvalue λ_k berkaitan dengan EOF orde k memberikan ukuran varian a_k sebagai $k = 1, \dots, p$. secara umum dituliskan sebagai :

$$\frac{100 \times \lambda_k}{\sum_{k=1}^p \lambda_k} \% \tag{19}$$

Proyeksi dari anomali X' kedalam EOF a_k , sebagai $C_k = X' a_k$ adalah *Principal Component (PC)* orde k

$$c_k(t) = \sum_{s=1}^p X'(t, s) a_k(s) \tag{20}$$

Guna untuk mengetahui dinamika oseanografi berdasarkan variabilitas temporal dan respon variabel terhadap variasi iklim. Pengaruh variasi iklim terhadap dinamika oseanografi menggunakan uji korelasi dari variabilitas temporal EOF yang dihasilkan. Korelasi dihitung dengan persamaan *Pearson* (Rasdihan, 2003):

$$C_{xy} = \frac{\sum (x - x') (y - y')}{\sqrt{\sum (x - x')^2 \sum (y - y')^2}} \tag{21}$$

- dimana
- C_{xy} : Koefisien korelasi
- x : nilai data x
- x' : rata-rata nilai data x
- y : nilai data y
- y' : rata-rata nilai data y



4.6.2 Principal component analysis (PCA)

Principal Component Analysis atau analisis komponen utama (AKU) merupakan suatu Teknik yang digunakan untuk menyederhanakan suatu data, dengan cara mentransformasi data secara linier, sehingga terbentuk suatu sistem koordinat baru dengan varians maksimum. Analisis komponen utama digunakan untuk mereduksi dimensi data tanpa mengurangi karakteristik data tersebut secara signifikan. Tujuan dari analisis ini untuk mengurangi dimensi peubah-peubah yang saling berhubungan dan cukup banyak, sehingga lebih mudah untuk menginterpretasikan data (Richard and Wichern, 2007). Penelitian ini menginformasikan secara empiris mengenai hubungan antara variasi iklim dan dinamika oseanografi menggunakan Analisis Komponen Utama (AKU). Analisis Komponen Utama diinterpretasikan pada struktur data dengan matrik yang besar dengan menarik informasi esensial (Bengen, 2000). Matriks data terdiri dari indeks variasi iklim (indeks NINO 3.4 dan DMI), variabel dinamika oseanografi (SST, SSC, POC, PIC dan PAR), dan data kedalaman (SSD). Data terlebih dahulu dilakukan normalisasi sebelum di analisis, dengan pemusatan dan pereduksian. Pereduksian sebagai hasil bagi antara nilai parameter terpusat dengan nilai simpangan bakunya (Amelia et al., 2012). Kemudian ditentukan analisis hubungan antar dua parameter menggunakan korelasi. Di antara kemungkinan semua indeks yang ada, dianalisis komponen utama untuk mencari indeks yang menunjukkan ragam maksimum. Komponen utama pertama yang memiliki korelasi antara komponen utama pertama (F1), komponen utama kedua (F2). Komponen utama kedua sebagai pelengkap komponen utama pertama dalam memberikan informasi tambahan. Proses tersebut terus berlanjut hingga diperoleh komponen ke-p. Pengukuran jarak AKU menggunakan *euklidian* dimana jumlah kuadrat perbedaan antara individu (baris) untuk data variabel yang berkoresponden. Semakin kecil

euklidian antar variabel, maka semakin mirip unsur tersebut. Sebaliknya, semakin besar euklidian, maka karakteristik unsur semakin berbeda. Pengolahan data AKU dilakukan dengan menggunakan piranti lunak JASP.

4.6.3 Generalized additive model (GAM)

Analisis *generalized additive model* (GAM) untuk mengetahui pengaruh parameter-parameter lingkungan terhadap pendugaan ikan lemuru. GAM sebagai regresi berganda dari model semi parametrik yang tidak mensyaratkan data terdistribusi normal (Wood, 2006), bersifat nonlinear dan mengurangi kelemahan penggunaan asumsi distribusi normal dalam parameter lingkungan yang diobservasi. Metode GAM untuk pemilihan variabel prediksi yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap variabel respon. Guna mengetahui adanya hubungan nonlinear antara variabel respon dan prediksi digunakan nilai p-value dan deviance sebagai acuan.

Analisis GAM menggunakan software R Studio dengan fungsi gam dari paket mgcv (Wood, 2006). Langkah pertama analisis GAM, adalah mendefinisikan setiap variabel, dimana hasil tangkapan ikan lemuru sebagai variabel respon dan SST, SSC, PIC, POC, PAR dan SSD sebagai variabel prediktor. Prosedur ini untuk memeriksa hubungan antar setiap variabel prediktor. Jika terdapat variabel prediktor yang tidak linear, dilakukan transformasi dengan mengubahnya menjadi log. Persamaan dasar yang digunakan adalah:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + e \dots\dots\dots (22)$$

dengan Y adalah variabel respon, yaitu Jumlah ikan lemuru, sedangkan X adalah variabel predictor, a dan b merupakan intercept dan slope-nya.

Eksplorasi data dilakukan sebelum pembentukan model GAM, dengan tujuan untuk memilih variabel optimal di antara variabel yang digunakan.

Eksplorasi data untuk melihat tingkat kolinearitas antar variabel menggunakan analisis pairplot. Analisis ini mengidentifikasi adanya kolinearitas antar variabel.

Seleksi variabel dalam proses eksplorasi data, menggunakan langkah dalam pembentukan model GAM. Pembentukan model GAM dilakukan dengan

kombinasi variabel Y dengan variabel X. Pemilihan model terbaik untuk memprediksi kelimpahan ikan lemuru didasarkan pada nilai AIC, CDE dan tingkat signifikansi. Persamaan perhitungan nilai AIC, sebagai berikut:

$$AIC = (n) + (n) \dots \dots \dots (23)$$

dimana:

D : deviance

Df : effective degree of freedom

Φ : dispersion parameters

n : number of observation

(Wood, 2006)

Semakin rendah nilai AIC dan CDE tinggi mengindikasikan semakin bagus persamaan yang terbentuk. Persamaan GAM dipilih, berdasarkan nilai AIC terendah, CDE tinggi dan mempunyai signifikansi tinggi.

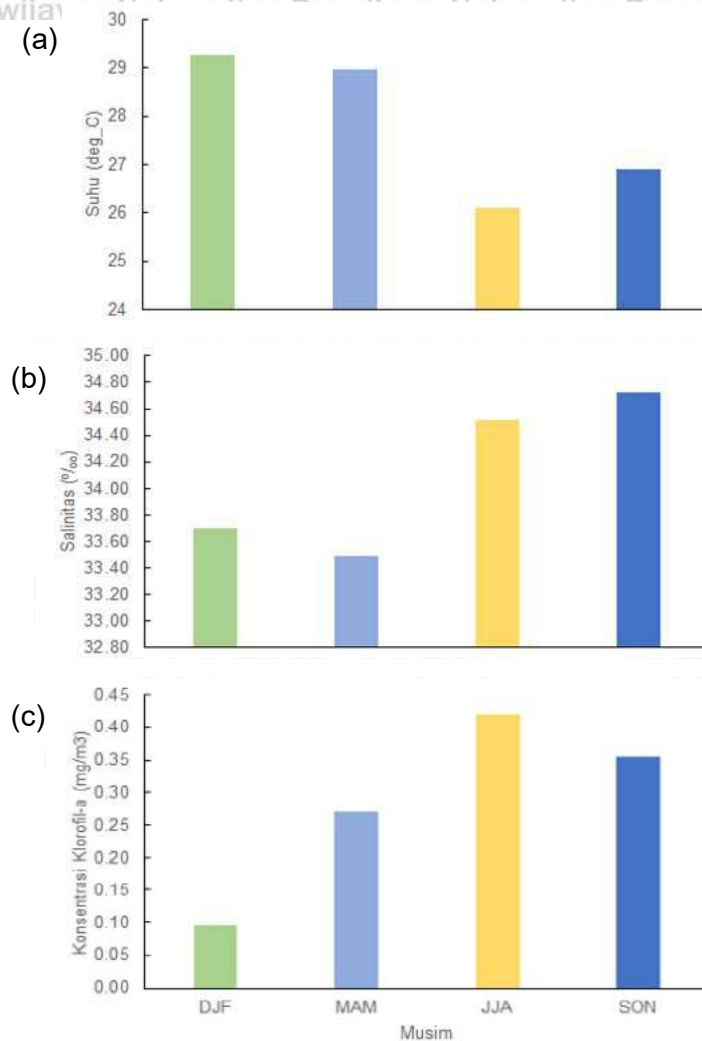
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengaruh variasi iklim dan dinamika oseanografi secara spasial-temporal di Selat Bali

Hasil pengamatan terhadap kondisi suhu permukaan air tercatat dengan rerata 27.70 °C, terendah terjadi pada musim timur (JJA) dengan suhu 25.42 °C dan tertinggi di musim barat (DJF) 29.78 °C (Gambar 10a), kondisi ini menunjukkan pengaruh dari pola musiman yang kuat. Nilai suhu di lokasi penelitian relatif stabil dan masih dalam kondisi yang optimum untuk biota laut.

Suhu sebagai parameter fisik lingkungan mempengaruhi kondisi lingkungan baik fisika, kimia, geokimia dan biologi. Suhu berperan penting dalam membatasi distribusi organisme laut (Robinson, 2010; Siregar dan Hariyadi, 2011).

Parameter salinitas, hasil pengukuran menunjukkan nilai rerata 34.1 ‰, dengan nilai minimum 33.4 ‰ di musim barat (DJF) dan nilai maksimum 34.9 ‰ di musim timur (JJA) (Gambar 10b). Peningkatan nilai salinitas terjadi pada musim timur (JJA) dan peralihan kedua (SON), kondisi ini menunjukkan adanya proses pembalikan massa air dari dalam kolom perairan menuju ke permukaan. Variasi dan interaksi suhu dan salinitas menentukan densitas air laut yang berpengaruh pada pergerakan vertikal massa air laut (Gordon et al. 2010). Pola pembalikan massa air terlihat dari hasil pengukuran klorofil-a, dengan nilai rerata klorofil-a 0.29 mg/m³, terjadi kenaikan nilai klorofil-a di musim peralihan I (MAM), musim timur (JJA) dan musim peralihan II (SON). Nilai konsentrasi klorofil-a tertinggi 0.59 mg/m³ terjadi pada musim timur (JJA) (Gambar 10c). Kondisi perairan yang demikian ini merupakan proses terjadinya upwelling di perairan Selat Bali (Hendiarti, et al., 2005; Sartimbul, et al., 2010).



Gambar 10. Variabilitas rerata bulanan (a) Suhu, (b) Salinitas, dan (c) Konsentrasi Klorofil-a

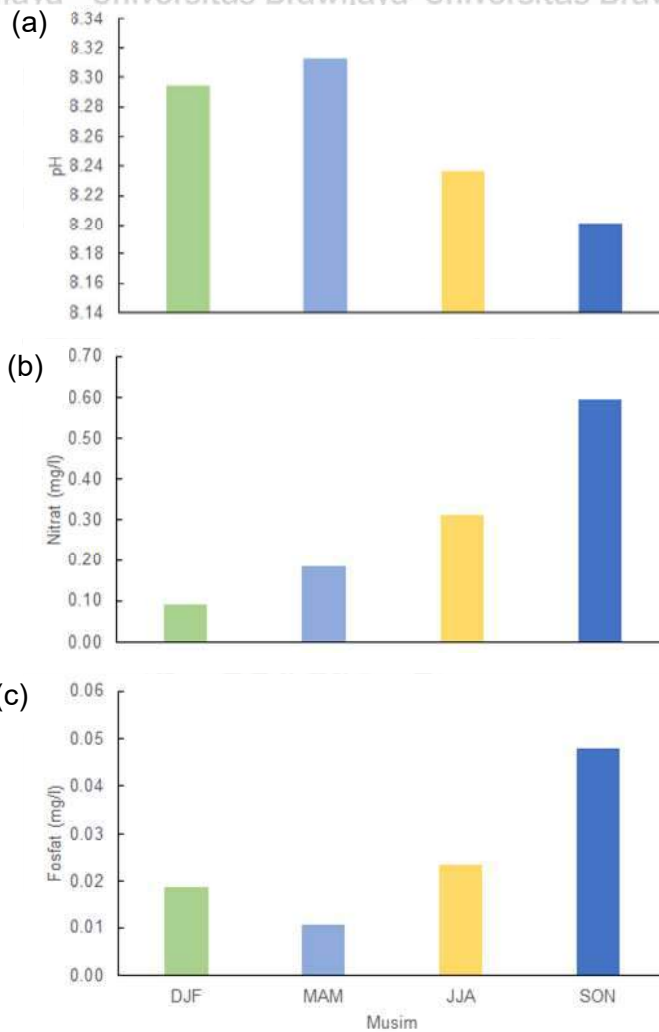
Kesuburan perairan terlihat dari ketersediaan nutrisi di perairan.

Parameter pH mempengaruhi ketersediaan nutrisi di suatu perairan oleh proses fotosintesis dan respirasi organisme (Suthers and Rissik, 2009; Zakiyah, *et al.*, 2015). Hasil pengukuran pH di perairan tercatat rerata 8.26, nilai minimum 8.12 yang terjadi di bulan November dan maksimum 8.34 di bulan Maret (Gambar 11a).

Kondisi pH perairan cenderung basa dan masih memenuhi syarat kehidupan organisme, sedangkan tingkat keasaman yang diperbolehkan berkisaran 7 – 8.5.

Ketersediaan nutrisi di perairan membatasi kelimpahan dan sebaran Fitoplankton yaitu Nitrogen baik dalam bentuk Amonia (NH₄), Nitrit (NO₂), Nitrat (NO₃), dan

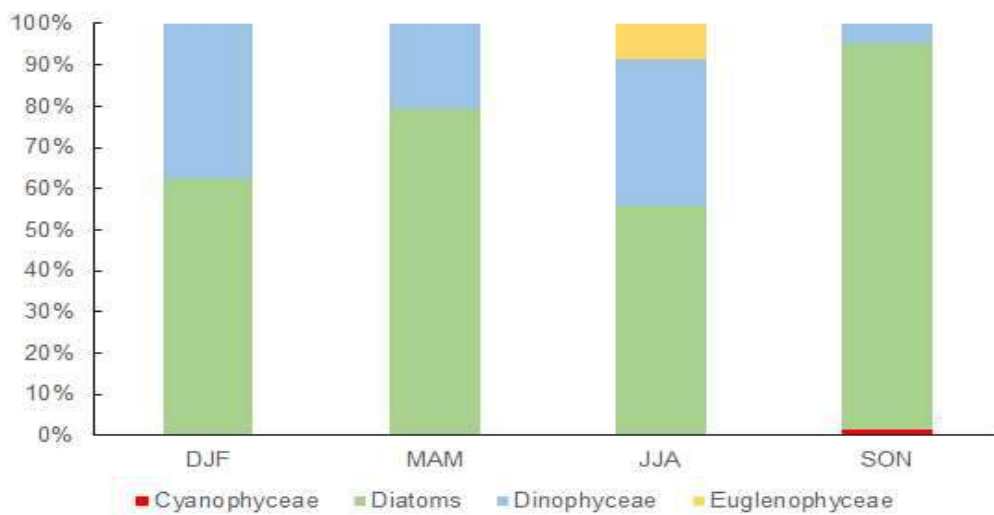
Fosfat. Pengukuran parameter Nitrat (NO_3) dan Fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$), dimana nilai nitrat tertinggi sebesar 1.20 mg/l (Gambar 11b), dan parameter fosfat tercatat sebesar 0.08 mg/l (Gambar 11c). Kondisi ini memperlihatkan tingkat kesuburan yang cukup tinggi terlihat dari nilai pH, Nitrat dan Fosfat (Susilo dan Pancawati, 2014; Susilo, 2015).



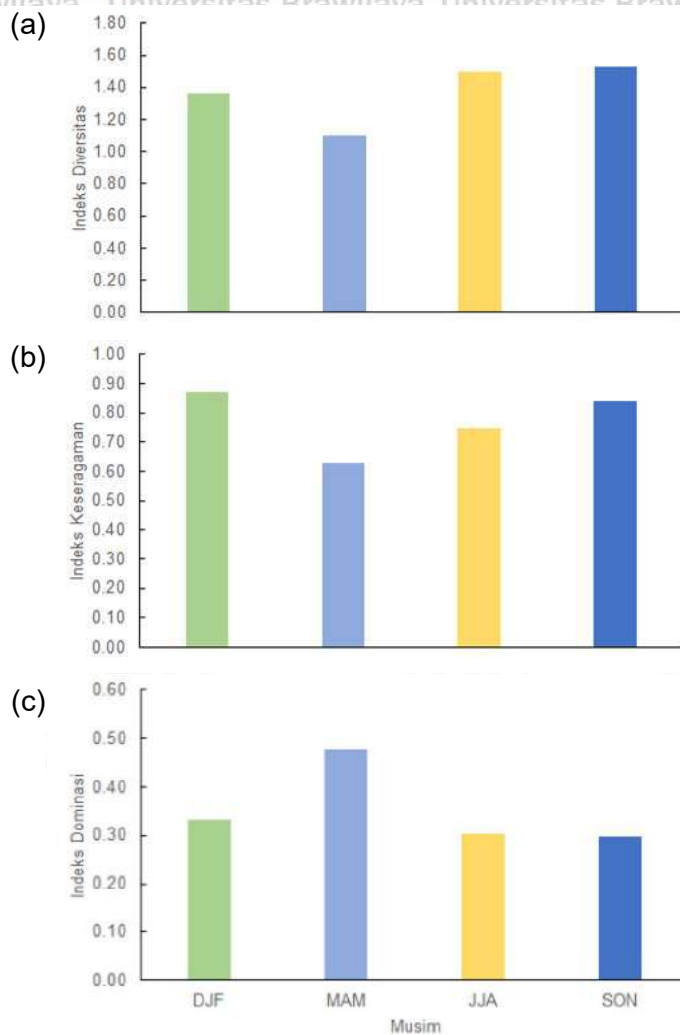
Gambar 11. Variabilitas rerata bulanan (a) pH, (b) Nitrat, dan (c) Fosfat

Tingkat kesuburan perairan dapat dilihat dari kelimpahan plankton (Fitoplankton dan Zooplankton). Kelimpahan Fitoplankton memiliki peranan dalam rantai makanan yaitu sebagai produsen primer. Keberadaan fitoplankton menjadi salah satu indikator kesuburan perairan. Komposisi terbesar dalam perairan

adalah *diatome* (Wibawa, 2012). Fitoplankton yang teridentifikasi yaitu *Dinophyceae*, *Diatom*, *Chlorophyceae*, dan *Cyanophyceae* (Gambar 12). Stabilitas komunitas fitoplankton di Selat Bali dalam kategori sedang (1.50) dengan keragaman antar spesies cukup seragam (0.90) dan tidak ada spesies yang mendominasi (0.50) (Gambar 13a). Tingkat keanekaragaman fitoplankton pada setiap musim termasuk sedang ditunjukkan dengan nilai indeks Diversitas Shannon-Wiener (H') pada kisaran antara 0 – 1.50 (Gambar 13b). Tingkat keanekaragaman spesies dapat digunakan sebagai indikasi kualitas suatu perairan. Semakin tinggi nilai indeksnya maka kualitas dan kestabilannya semakin prima (Parulian, *et al.*, 2018; Pertami, *et al.*, 2019a). Tingkat keragaman spesies fitoplankton setiap musim cukup seragam. Dominasi fitoplankton dalam perairan relatif rendah ditunjukkan nilai indeks dominansi (D) berkisar antara 0.30 – 0.32 (Gambar 13c).



Gambar 12. Komposisi fitoplankton di Selat Bali berdasarkan musim

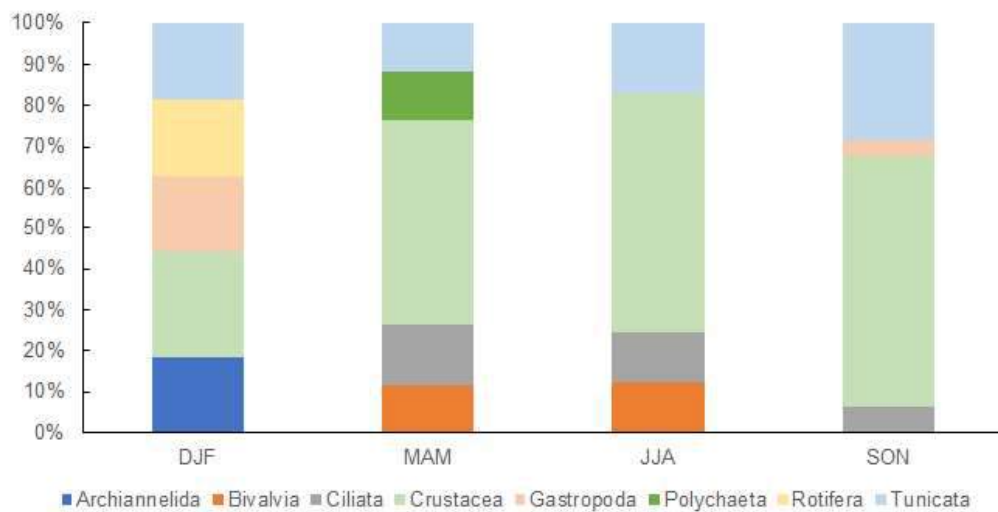


Gambar 13. Indeks kualitas komunitas fitoplankton: (a) Diversitas, (b) Keseragaman, dan (c) Dominasi

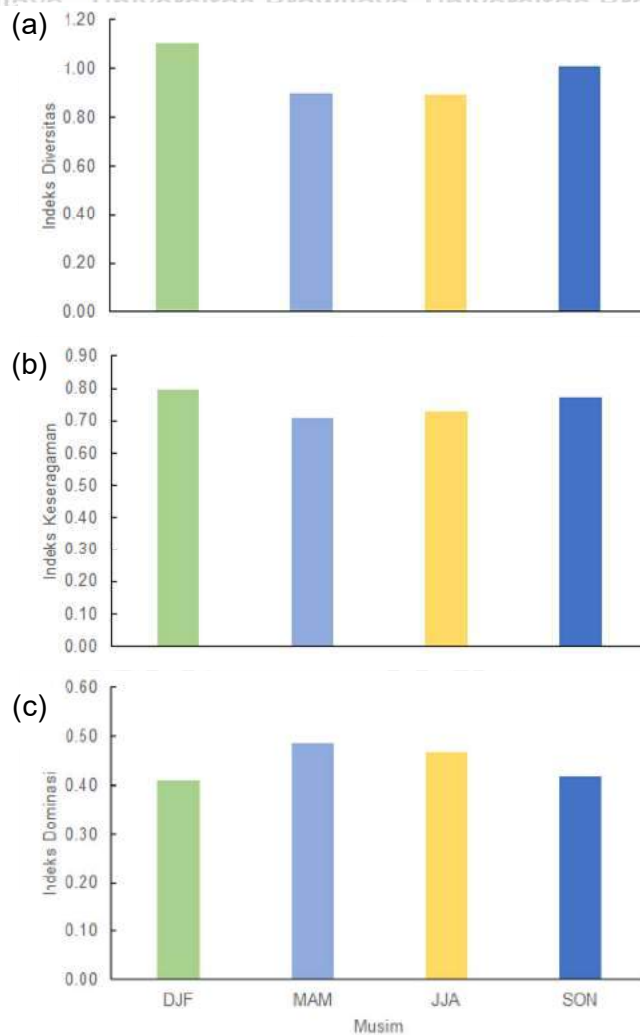
Kelimpahan zooplankton teridentifikasi dari kelas *Archiannelida*, *Bivalvia*, *Ciliata*, *Crustacea*, *Gastropoda*, *Polychaeta*, *Rotifera*, dan *Tunicata* (Gambar 14).

Stabilitas komunitas zooplankton di Selat Bali dalam kategori tidak stabil (1.10) dengan keragaman antar spesies cukup seragam (0.80) dan tidak ada spesies yang mendominasi (0.50) (Gambar 15a). Tingkat keanekaragaman zooplankton pada musim peralihan (SON dan MAM) dan musim timur (JJA) termasuk rendah ditunjukkan dengan nilai indeks Diversitas Shannon-Wiener (H') < 1, hanya musim barat (DJF) mempunyai nilai indeks Diversitas Shannon-Wiener (H') > 1 (Gambar 15b). Tingkat keseragaman spesies zooplankton di setiap musim cukup seragam

(Susilo dan Pancawati, 2014; Susilo, 2015). Dominasi zooplankton di perairan relatif rendah yang ditunjukkan nilai indeks dominansi (D) berkisar antara 0.40 – 0.49 (Gambar 15c). Kelimpahan dan fluktuasi yang cukup tinggi dari konsentrasi klorofil-a di Selat Bali mempunyai hubungan yang saling memperkuat (Herawati, *et al.*, 2014; Zakiyah, *et al.*, 2015) dari semua parameter hasil pengukuran. Hasil analisis korelasi antar parameter menunjukkan hubungan kuat klorofil-a dengan plankton, salinitas, nilai keanekaragaman fitoplankton, nilai keseragaman zooplankton, kelimpahan fitoplankton khususnya diatom (Susilo dan Pancawati, 2014; Susilo, 2015; Pertami, *et al.*, 2019a). Kelimpahan diatom memiliki fluktuasi yang cukup tinggi seiring dengan perubahan konsentrasi klorofil-a, sebaliknya kelimpahan *dinoflagellata* terlihat lebih seragam. Hasil analisis korelasi antar parameter mempunyai hubungan kuat dengan Salinitas, pH, Nitrat dan fosfat. Hubungan antar parameter ditunjukkan dalam Gambar 16. Fluktuasi kelimpahan diatom mempunyai hubungan kuat dengan nitrat dan fosfat dibandingkan *dinoflagellata* ditunjukkan hasil analisis korelasi yang positif kuat.



Gambar 14. Komposisi zooplankton di Selat Bali berdasarkan musim

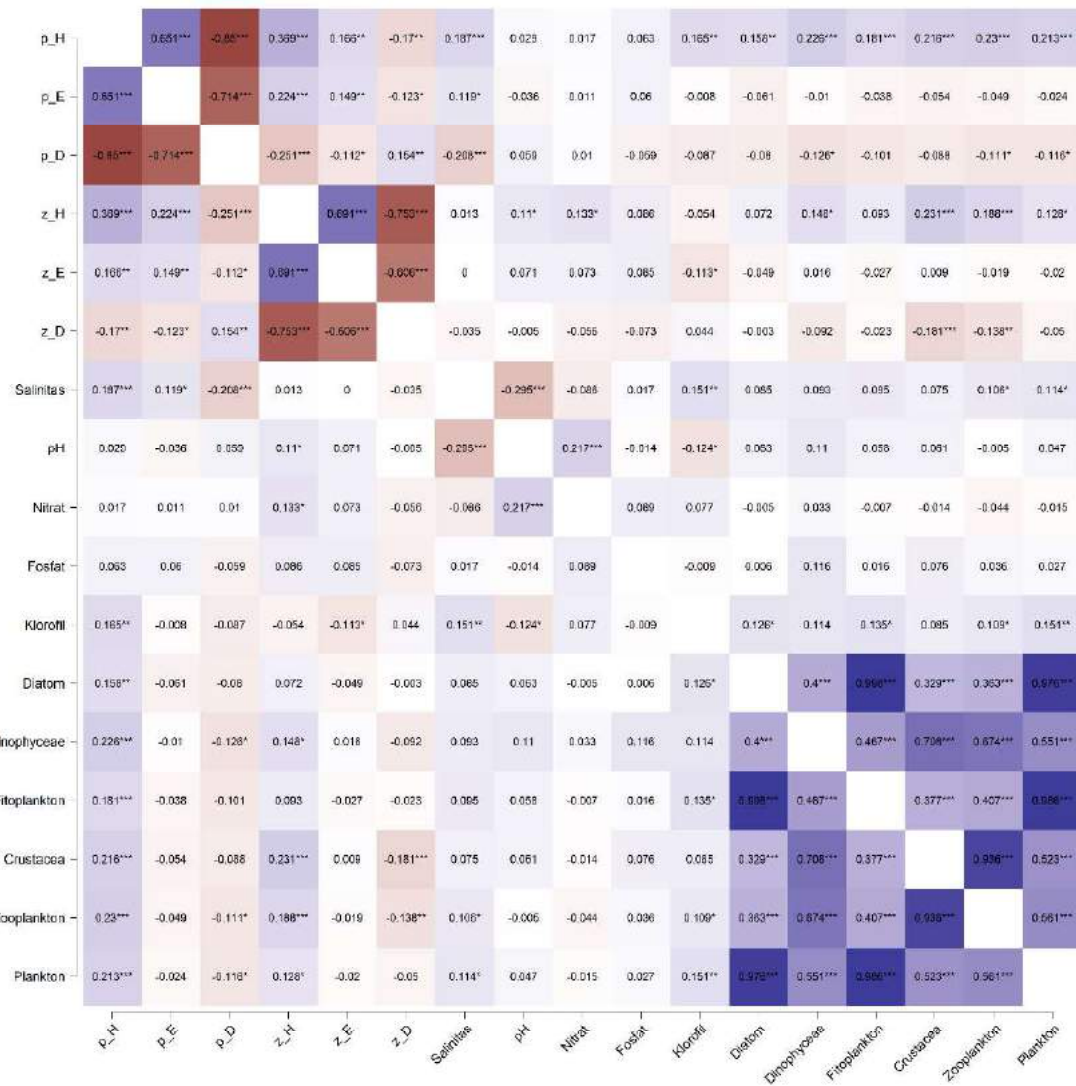


Gambar 15. Indeks kualitas komunitas zooplankton: (a) Diversitas, (b) Keseragaman, dan (c) Dominasi

Hubungan antar parameter, diketahui hubungan kuat kelimpahan plankton (fitoplankton dan zooplankton) dengan kondisi fisik dan kimia perairan, sehingga dalam kegiatan monitoring kondisi lingkungan pada waktu panjang diperlukan bantuan data satelit penginderaan jauh yang memiliki tingkat akurasi tinggi.

Penelitian ini menggunakan data satelit Aqua/Terra MODIS, dimana validasi datanya merupakan kegiatan yang berhubungan dengan tingkat ketelitian informasi hasil perekaman satelit. Validasi menggunakan 16 data set luaran dari data satelit Aqua/Terra MODIS dengan hasil pengukuran di Selat Bali. Informasi dari satelit berupa data SST dan SSC yang dibandingkan dengan kondisi

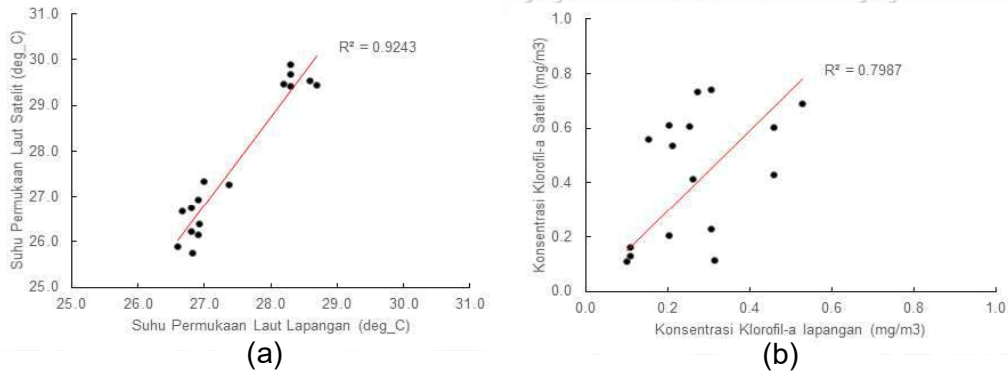
pengukuran lapangan. Uji regresi digunakan untuk memvalidasi parameter SST dan SSC dengan selang kepercayaan 95%, yang menunjukkan hubungan kuat antara dua sistem pengukuran (Gambar 17) (Sambah, 2006).



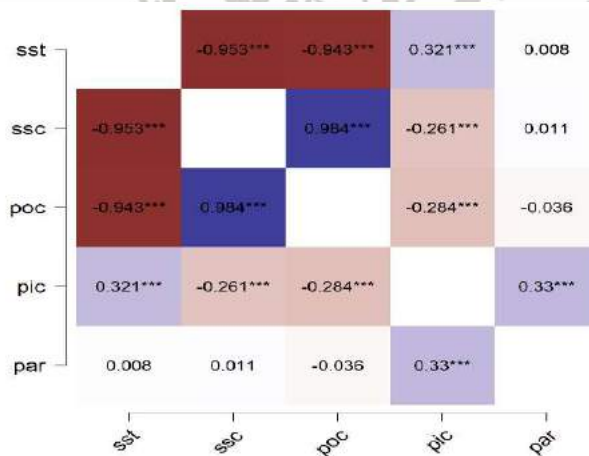
Gambar 16. Korelasi antar parameter hasil pengukuran lapangan

Korelasi antar parameter yang kuat dari parameter SST dan SSC dengan data lapangan menunjukkan bahwa data pengamatan dari satelit penginderaan jauh dapat mewakili kondisi lapangan. Luaran dari pengukuran satelit dengan sensor MODIS tidak hanya data SST dan SSC tetapi ada parameter POC, PIC, dan PAR. Luaran dari pengukuran satelit perlu dianalisis untuk melihat hubungan

antar parameter, sehingga dilakukan analisis korelasi antar parameter dan diperoleh hubungan yang kuat parameter SST dengan SSC, POC dan PIC, sedangkan PAR mempunyai hubungan kuat dengan PIC pada signifikansi 95% (Gambar 18).



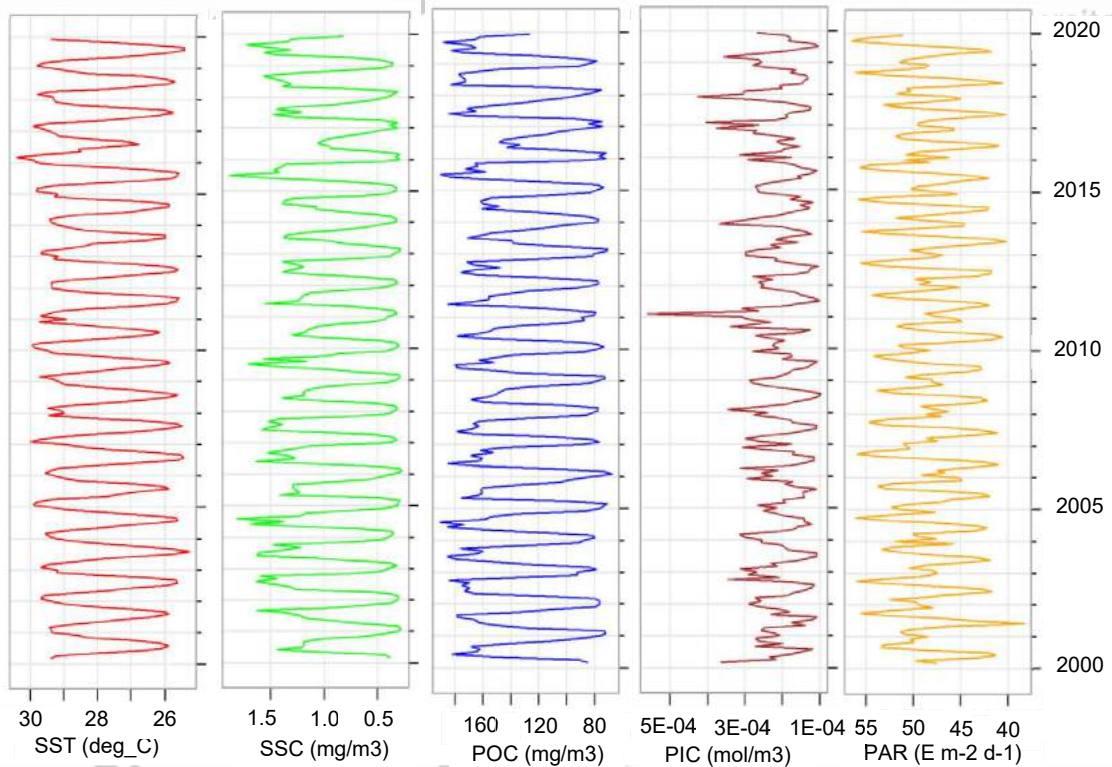
Gambar 17. Grafik regresi data lapangan dan sensor satelit



Gambar 18. Korelasi antar parameter dari citra satelit

Pengamatan variasi musiman dari data penginderaan jauh di Selat Bali memiliki variabilitas spasial dan temporal yang terlihat jelas dari pola temporal data. Kondisi oseanografi dari satelit selama pengamatan menunjukkan pola yang mengikuti musim (Gambar 19). Hubungan kuat parameter SST dengan SSC, POC dan PIC, akan tetapi memiliki pola hubungan terbalik antara SST dengan SSC dan POC, dimana jika SST naik maka nilai SSC dan POC turun. Pola naik-turun nilai

SST dengan SSC, POC dan PIC mengikuti pola musim, pada musim barat (DJF) SST dan PIC naik, menurun untuk POC dan SSC, kondisi sebaliknya terjadi pada musim timur (JJA). Parameter PAR yang mempunyai hubungan kuat dengan PIC menunjukkan pola yang sama dengan SST. Kondisi ini merupakan proses terjadinya *upwelling* ditandai oleh kelimpahan klorofil-a di Selat Bali (Wijaya, *et al.*, 2020a; Setyohadi, *et al.*, 2021).



Gambar 19. Variabilitas parameter oseanografi (SST, SSC, POC, PIC dan PAR)

Periode musim timur (JJA) kelimpahan klorofil-a terlihat tinggi dan terdistribusi meluas di pesisir pantai Pulau Jawa dan Bali. Kondisi SST rendah membawa massa air yang kaya nutrient dari dalam menuju permukaan diindikasikan tingginya nilai klorofil-a (Hendiarti, *et al.*, 2005; Susilo, 2015). Gerakan naik massa air akibat stratifikasi lapisan memiliki perbedaan densitas pada tiap lapisan, karena dengan bertambah dalam perairan maka suhu semakin turun dan densitas makin

meningkat. Perubahan kondisi perairan pada periode JJA diperkuat oleh pengaruh angin timur yang bertindak sebagai *wind driven motion* pada fenomena *upwelling* (Ningsih, *et al.*, 2013; Ratnawati, *et al.*, 2016). Pengamatan variasi musiman terhadap dinamika oseanografi selama periode 20 tahun (Maret 2000-Desember 2019), diketahui dengan jelas pengaruh fenomena antar tahunan seperti ENSO dan IOD dari anomali yang terjadi. Kejadian ENSO (El Niño/La Niña), IOD (positif/negatif), terjadi secara berulang selama pengamatan tersaji pada Tabel 4. Kejadian El Niño/La Niña dan IOD positif/negatif berdasarkan indeks Niño 3.4 dan DMI, ditemukan 6 peristiwa El Nino, 7 peristiwa La Nina, 11 peristiwa IOD positif, dan 3 peristiwa IOD negatif.

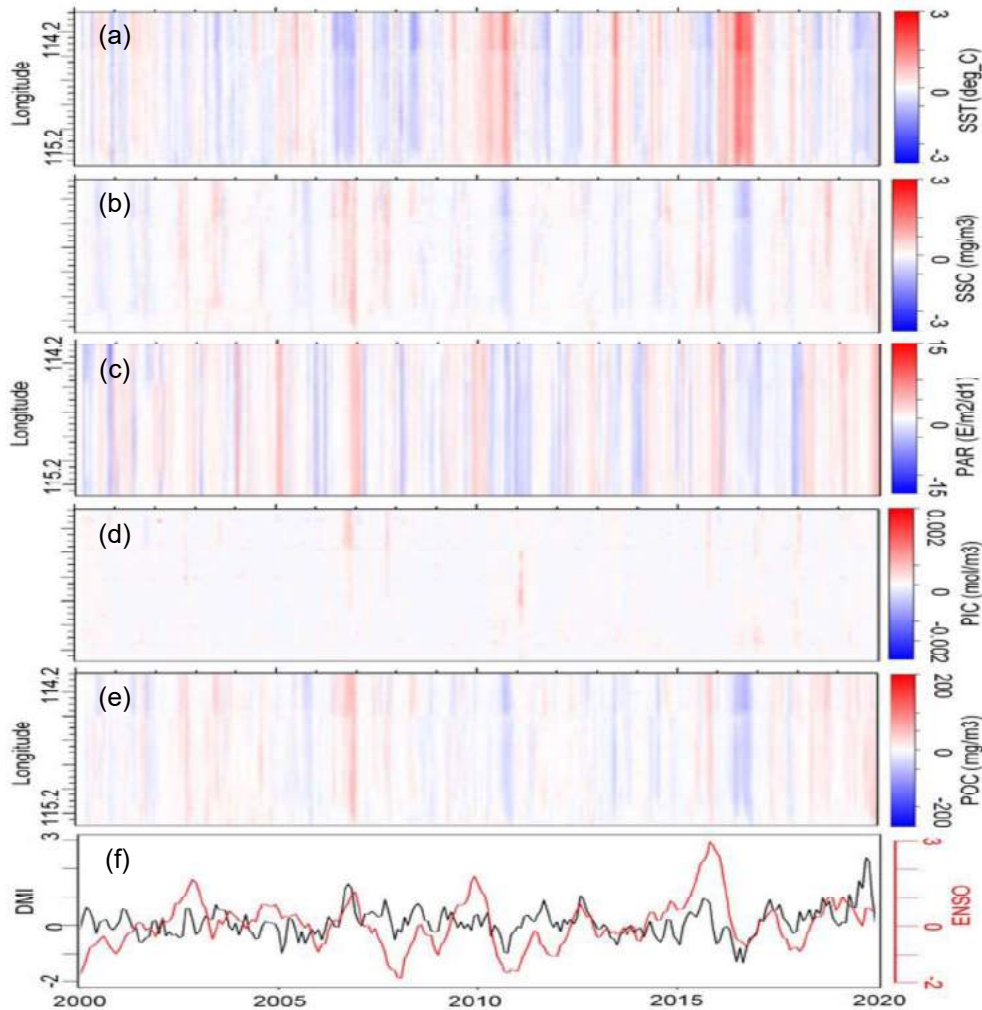
Tabel 4. Klasifikasi dari El Nino/La Nina dan IOD dari tahun 2000-2019 berdasarkan data Indeks NINO 3.4 dan DMI

El Nino	La Nina	IOD Positif	IOD Negatif
2002/2003, 2004/2005, 2006/2007, 2009/2010, 2015/2016, 2018/2019	2000/2001, 2005/2006, 2007/2008, 2008/2009, 2010/2011, 2011/2012, 2016/2017	2003, 2006, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2015, 2017, 2018, 2019	2005, 2013, 2010

Konsentrasi SSC dan POC lebih tinggi selama peristiwa El Niño (anomali positif) dibandingkan selama peristiwa La Niña (anomali negatif). Peristiwa El Niño kuat terjadi di Pasifik tropis (2015), konsentrasi SSC dan POC tinggi terdistribusi di seluruh perairan Selat Bali (Gambar 20 b, e, f). Puncak anomali SSC dan POC diamati pada akhir fase pengembangan El Niño 2002/2003, 2006/2007, 2009/2010, 2015/2016 terjadi di bulan September hingga fase puncak awal di bulan Oktober-November (Iskandar, *et al.*, 2017; Wijaya, *et al.*, 2020a). Konsentrasi SSC dan POC berkurang di bulan Desember sebelum fase El Niño berakhir (Gambar 20 b, e, f). Konsentrasi SSC dan POC tinggi, terjadi selama peristiwa IOD positif pada tahun 2003, 2006, 2010, dan 2015. Konsentrasi SSC

dan POC lebih tinggi dan terdistribusi di seluruh perairan Selat Bali selama periode IOD murni pada tahun 2003 (Rao, *et al.*, 2009; Wijaya, *et al.*, 2020a) dibandingkan peristiwa IOD positif bersamaan dengan peristiwa El Niño pada tahun 2006 (Ningsih, *et al.*, 2013). Ketika peristiwa IOD positif terjadi bersamaan dengan peristiwa La Niña pada tahun 2007 dan 2011 (Iskandar, *et al.*, 2014), konsentrasi SSC dan POC di Selat Bali meningkat selama Juli-Agustus tahun 2007 dan Agustus-September 2011 (Gambar 20 b, e, f). kondisi sebaliknya selama La Niña dan/atau peristiwa IOD negatif. Konsentrasi SSC dan POC rendah selama La Niña kuat dan/atau kejadian IOD negatif pada 2010/2011 (Gambar 20 b, e, f). Mekanisme dari variasi SSC dan POC di perairan Selat Bali, dilakukan eksplorasi terhadap kondisi variabilitas spasial dan temporal dari SST, PIC dan PAR selama tahun 2000-2019 dengan penekanan pada kejadian El Niño/La Niña dan positif/Peristiwa IOD negatif (Gambar 20 a, c, d, f).

Perubahan SST, PIC dan PAR, selama peristiwa El-Niño dan IOD positif ditemukan perubahan pola anomali yang menunjukkan tinggi konsentrasi SSC dan POC akan diikuti dengan menurunnya anomali SST negatif (Gambar 20 a-f). Hasil analisis menunjukkan secara konsisten bahwa konsentrasi SSC dan POC rendah bertepatan dengan SST, PIC dan PAR positif (Wijaya, *et al.*, 2021). Anomali SST, PIC dan PAR positif yang dihasilkan menekan konsentrasi SSC dan POC permukaan di Selat Bali. Di sisi lain, anomali SST, PIC dan POC negatif diikuti oleh anomali SSC dan POC permukaan yang positif. Dua peristiwa yang berlawanan, yaitu peristiwa La Niña kuat pada tahun 2010/2011 dan peristiwa El Niño kuat pada tahun 2015/2016 menyebabkan dua kondisi laut dan atmosfer yang berbeda terjadi di Selat Bali (Gambar 20 f).



Gambar 20. Anomali data oseanografi (a) SST, (b) SSC, (c) POC, (d) PIC, (e) PAR, dan (f) ENSO dan DMI

Siklus musim, ENSO dan IOD mempengaruhi dinamika oseanografi di Selat Bali. Variabilitas spasial dan temporal yang terbentuk dari mode EOF mengemukakan kondisi SST, SSC, POC, PIC dan PAR bulanan (Gambar 21).

Varian yang ada mengungkap adanya variabilitas dari parameter SST, SSC, POC, PIC, dan PAR. Pola variabilitas spasial SST dan PAR mempunyai varian di atas 80% dengan mode EOF 1 (SST: 87%, dan PAR: 86%), mode EOF 2 (SST: 2%, dan PAR 4%), dan mode EOF 3 (SST: 1%, dan PAR: 3%) dari total varian (Gambar 21 a, e). Pola ini menunjukkan variabilitas SST dan PAR secara temporal lebih kuat dan luas pengaruhnya di perairan Selat Bali. Variabilitas spasial

parameter SSC, dan POC menunjukkan varian kurang dari 80% dan lebih dari 50% dari total varian, dimana mode EOF 1 sebesar 45% (SSC) dan 57% (POC), mode EOF 2 sebesar 7% (SSC) dan 8% (POC), dan mode EOF 3 sebesar 5% (SSC) dan 6% (POC) (Gambar 21 b, c). Kondisi ini mengungkapkan adanya variabilitas SSC dan POC relatif tinggi. Pola ini menunjukkan dinamika di pantai mempunyai pengaruh tinggi terhadap variabilitas SSC dan POC (Wijaya, *et al.*, 2021). Parameter PIC dengan varian sebesar 34% dari total, menunjukkan pengaruh parameter ini rendah, dimana mode EOF 1 varian sebesar 27%, mode EOF 2 sebesar 5%, dan mode EOF 3 sebesar 2%. Kondisi ini menggambarkan dinamika dan variabilitas parameter PIC kurang berpengaruh di Selat Bali.

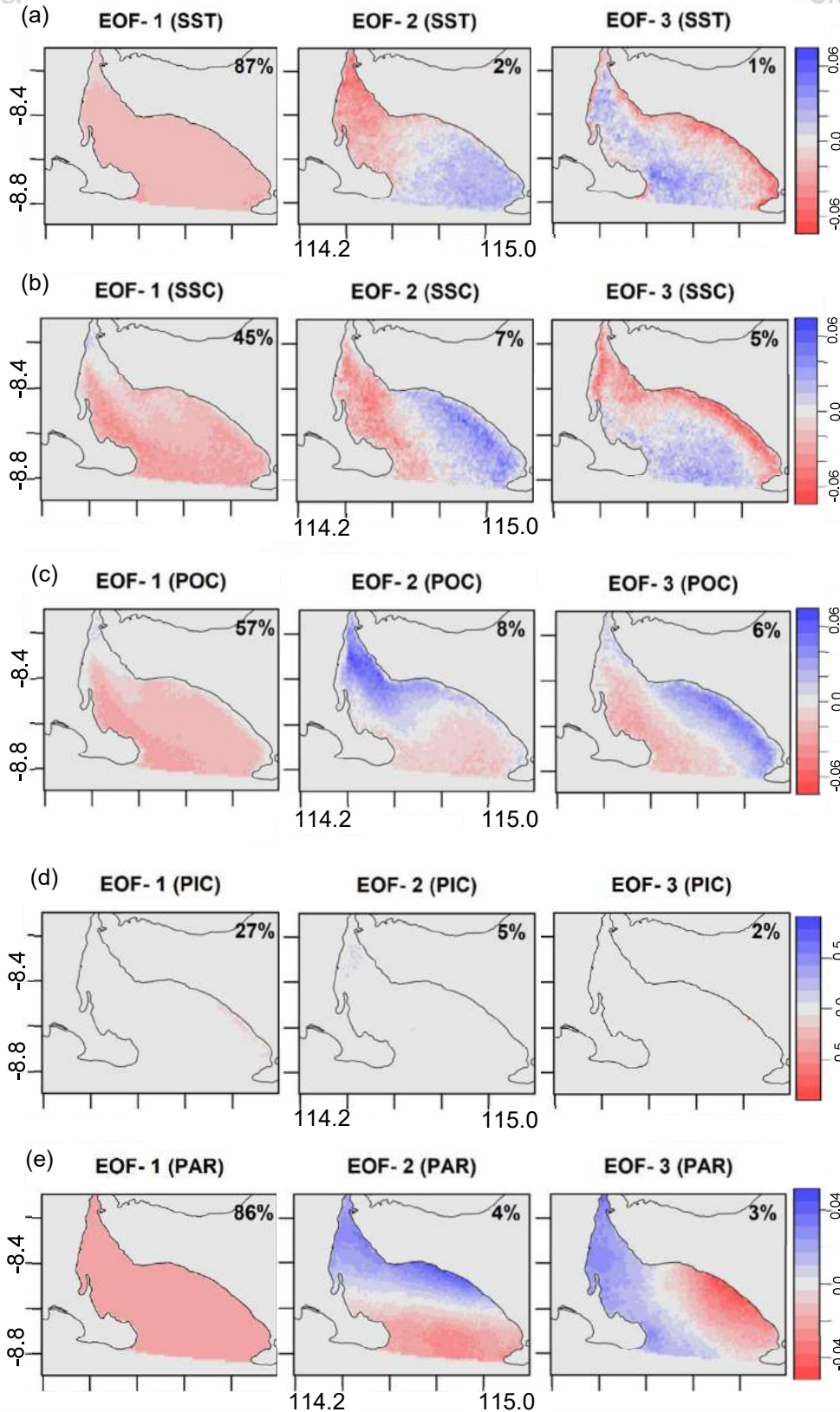
Parameter SST dan PAR memiliki nilai variabilitas SST berkisar $-0,06$ hingga $0,06$, dan PAR $-0,04$ hingga $0,04$. Mode-1 menggambarkan perairan Selat Bali, memiliki variabilitas tinggi ($-0,02$ hingga $-0,06$). Tingginya fluktuasi SST dan PAR, rerata bernilai 0 hingga $-0,04$ dengan satu kutub (*monopole*) berpusat di selatan. Mode-2 menunjukkan variabilitas SST dan PAR tinggi sebesar $-0,03$. Hasil mode-2 variabilitas SST dan PAR rerata bernilai negative (SST) dan positif (PAR) di bagian utara Selat Bali, sedangkan bagian selatan bernilai positif (SST) dan negative (PAR). Mode-3 variabilitas SST dan PAR memiliki dua pusat dengan nilai variabilitas tinggi namun berlawanan, antara pesisir barat Pulau Bali (bernilai negatif antara $-0,02$ hingga $-0,03$) dengan di sepanjang pantai timur Banyuwangi (bernilai positif antara $0,01$ hingga $0,04$).

Hasil analisis EOF variabilitas SSC dan POC menunjukkan rentang nilai $-0,06$ sampai $0,06$. Mode EOF-1 menunjukkan perairan Selat Bali dengan variabilitas tinggi berkisar antara $-0,02$ hingga $-0,06$. Tingginya fluktuasi SSC dan POC pada mode EOF 1, rerata nilai antara 0 hingga $-0,04$ dengan satu kutub (*monopole*) berpusat di bagian selatan pesisir Banyuwangi (Iskandar, *et al.*, 2017). Mode 2

menunjukkan nilai variabilitas SSC dan POC tinggi dengan nilai $-0,04$. Variabilitas SSC bernilai negatif berada mulai dari utara Selat Bali menuju selatan sepanjang pesisir pantai Banyuwangi, sedangkan POC bernilai negatif berada di bagian Selatan Selat Bali. Variabilitas SSC bernilai positif terdapat di bagian pesisir barat Pulau Bali, dan parameter POC terdapat mulut Selat menuju Selatan. Mode 3 menunjukkan variabilitas SSC dan POC memiliki dua titik dengan nilai variabilitas tinggi namun berlawanan, di pesisir barat Bali yang memiliki variabilitas bernilai negatif (SSC) dan positif (POC). Variabilitas PIC menunjukkan rentang nilai $-0,2$ hingga $0,2$. Model EOF 1 sampai dengan 3 parameter PIC menunjukkan kondisi yang tidak berfluktuasi di perairan Selat Bali. Pada mode 1 memiliki nilai negatif di sepanjang Pantai Barat Pulau Bali dan terdapat nilai positif pada Mode 2 di utara Selat Bali.

Selain variabilitas SST, SSC, POC, PIC, dan PAR secara spasial, juga menghasilkan pola temporal. Pola temporal ditunjukkan oleh amplitudo setiap mode EOF. Pola temporal 3 mode awal dari parameter SST, SSC, POC, PIC, dan PAR, menunjukkan mode-1 memperlihatkan pola tahunan dengan *variance explained* di atas 80% yang mengikuti siklus dari angin Muson dan IOD. Mode-2 memperlihatkan pola antar-tahunan dengan *variance explained* kurang dari 10% yang diduga fenomena ENSO, sedangkan mode-3 menunjukkan pola musiman.

Jika dilihat pada mode-1, pada periode IOD memiliki amplitudo yang sama dibandingkan dengan tahun kejadian ENSO. Deret waktu dari mode EOF 1, terlihat jelas adanya sinyal antar-tahunan, sebagai contoh, deret waktu SST, SSC, dan POC menunjukkan hubungan kuat dengan periode IOD (Iskandar, *et al.*, 2013; Wijaya, *et al.*, 2020a) dan mengalami variasi antar-tahunan, sedangkan mode EOF 1 parameter PAR dan PIC berkorelasi dengan deret waktu NINO 3.4 (ENSO).



Gambar 21. Pola spasial dari mode EOF yang terbentuk (a) SST, (b) SSC, (c) POC, (d) PIC, dan (e) PAR

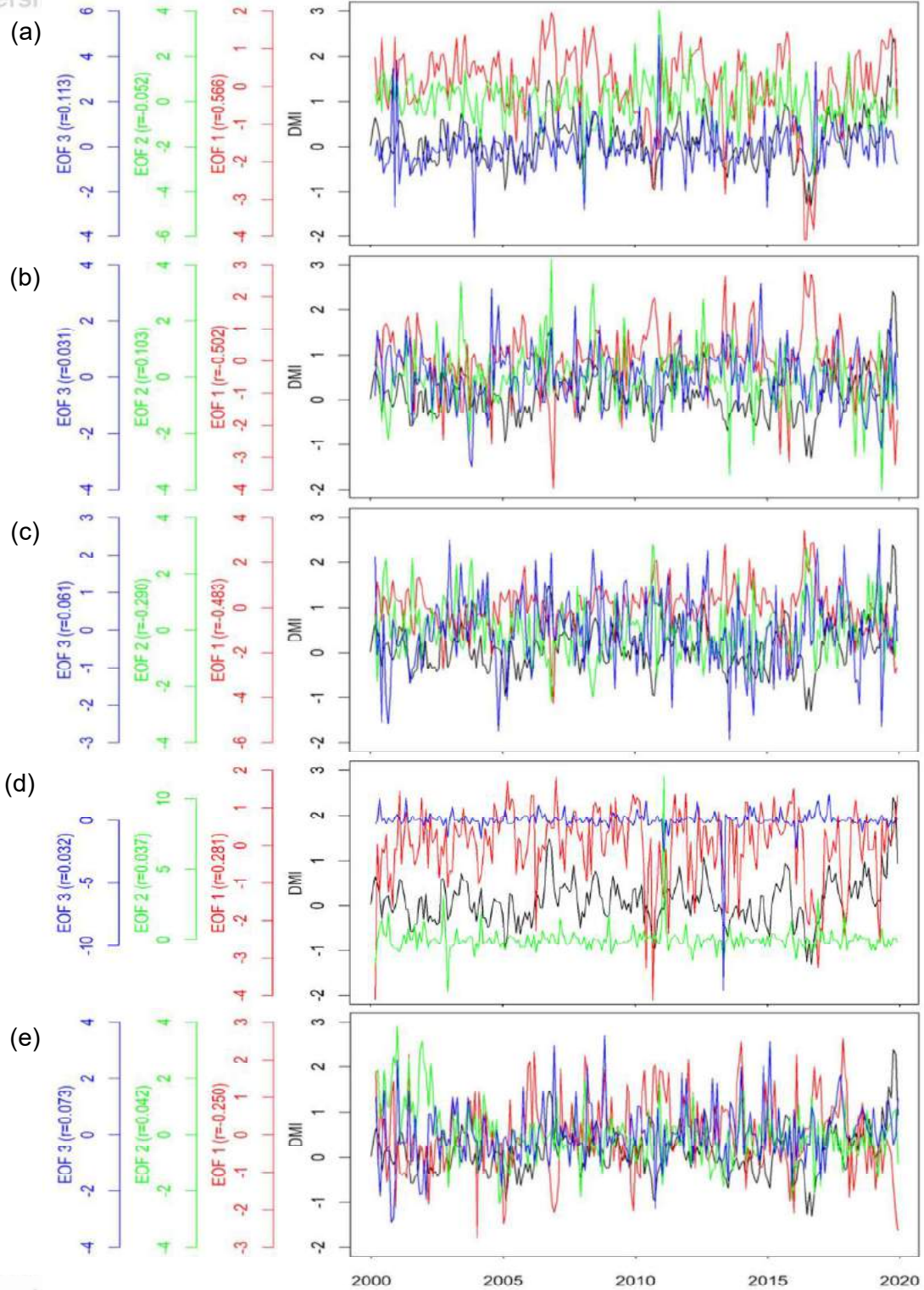


Monitoring antar-tahunan SST, SSC dan POC di Selat Bali dengan peristiwa IOD menggunakan analisis EOF pada data rerata musiman. Analisis EOF diterapkan pola musim individu, khususnya di musim timur (JJA) dan musim peralihan II (SON). Penelitian sebelumnya menunjukkan periode IOD berkembang di musim timur (JJA), yang berkorelasi dengan *upwelling*, dan puncaknya di musim peralihan (SON) (Saji, *et al.*, 1999; Ningsih, *et al.*, 2013; Iskandar, *et al.*, 2014; Iskandar, *et al.*, 2017; Wijaya, *et al.*, 2020a). Variasi temporal komponen utama dari mode EOF setiap parameter, terlihat jelas deret waktu parameter SST, SSC dan POC mengikuti siklus musiman dan IOD sedangkan parameter PAR dan PIC mengikuti pola ENSO (Gambar 22 dan 23). Pola temporal dari mode utama dari EOF, berkorelasi cukup kuat bernilai positif parameter SST (Iskandar, *et al.*, 2017; Wijaya, *et al.*, 2021), dan bernilai negatif pada parameter SSC dan POC dengan DMI. Korelasi kuat positif ENSO (NINO 3.4) dengan parameter PIC dan korelasi negatif dengan parameter PAR (Tabel 5).

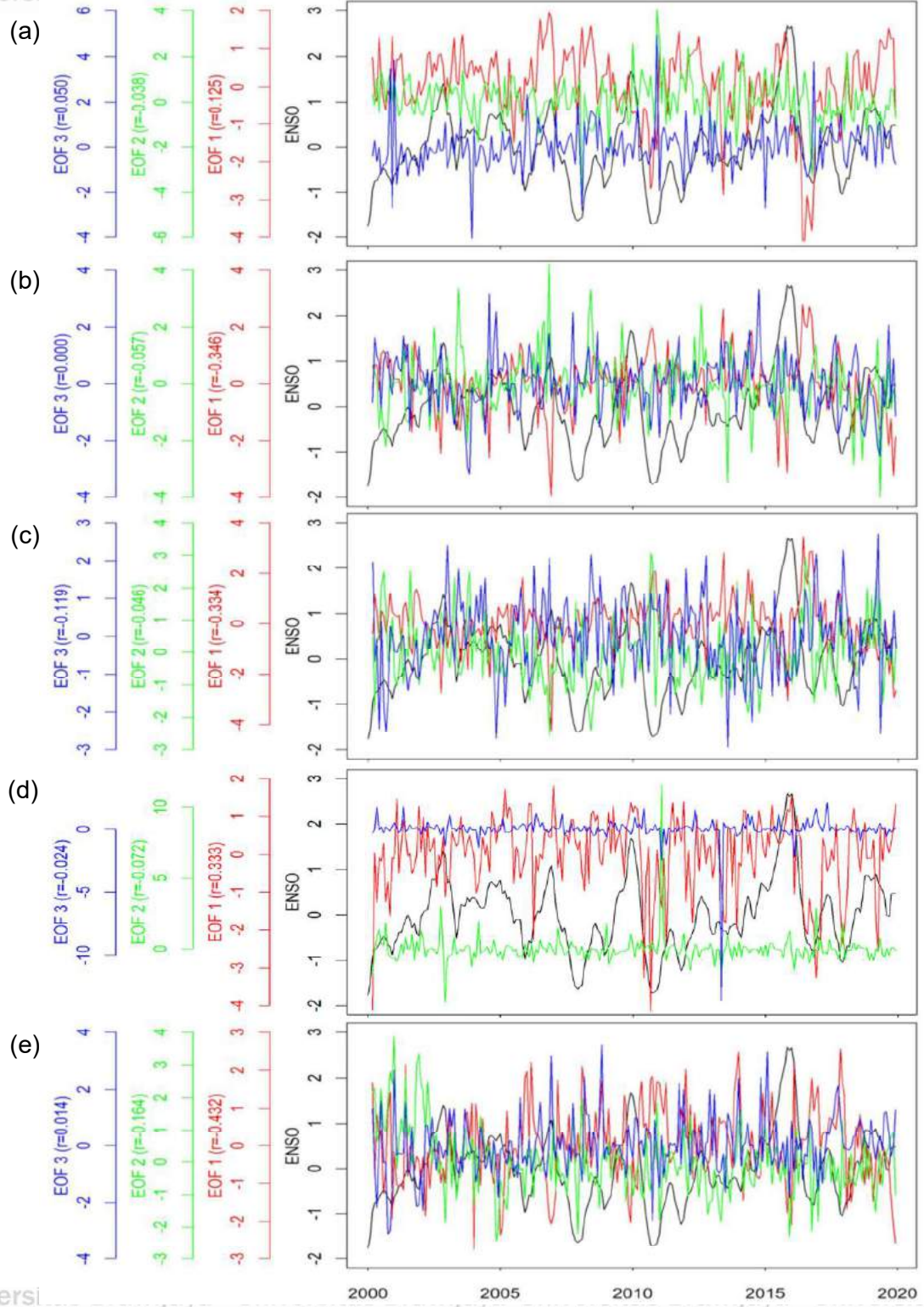
Tabel 5. Koefisien korelasi variasi iklim dan mode EOF

Variable		DMI	NINO 3.4
SST	EOF1	0.566***	0.125
	EOF2	-0.052	-0.038
	EOF3	0.113	0.05
SSC	EOF1	-0.502***	-0.346***
	EOF2	0.103	-0.057
	EOF3	0.031	-0.0009
POC	EOF1	-0.483***	-0.334***
	EOF2	-0.290***	-0.046
	EOF3	0.061	-0.119
PIC	EOF1	0.281***	0.333***
	EOF2	0.037	-0.072
	EOF3	0.032	-0.024
PAR	EOF1	-0.250***	-0.432***
	EOF2	0.042	-0.164*
	EOF3	0.073	0.014

Level signifikansi korelasi: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$



Gambar 22. Komponen utama (garis merah, hijau dan biru) dari mode EOF: (a) SST, (b) SSC, (c) POC, (d) PIC, dan (e) PAR. Deret waktu DMI (Garis hitam) pada setiap panel.

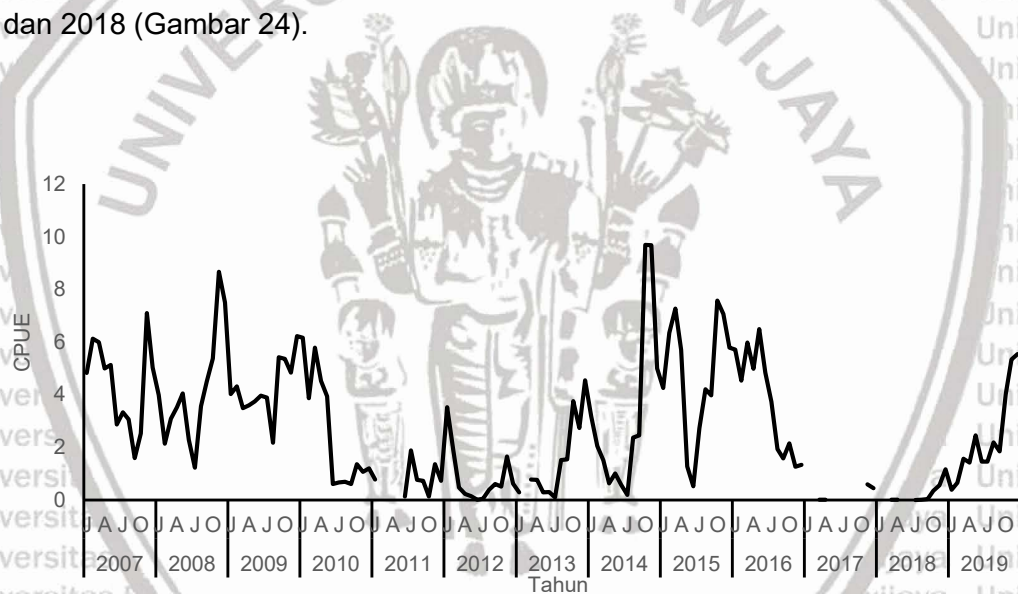


Gambar 23. Komponen utama (garis merah, hijau dan biru) dari mode EOF: (a) SST, (b) SSC, (c) POC, (d) PIC, dan (e) PAR. Time series ENSO (Garis hitam) pada setiap panel.

5.2 Penentuan parameter utama variasi iklim dan dinamika oseanografi untuk pendugaan ikan lemuru Selat Bali

Data hasil dan upaya tangkap ikan lemuru di Tempat Pelelangan Ikan (TPI)

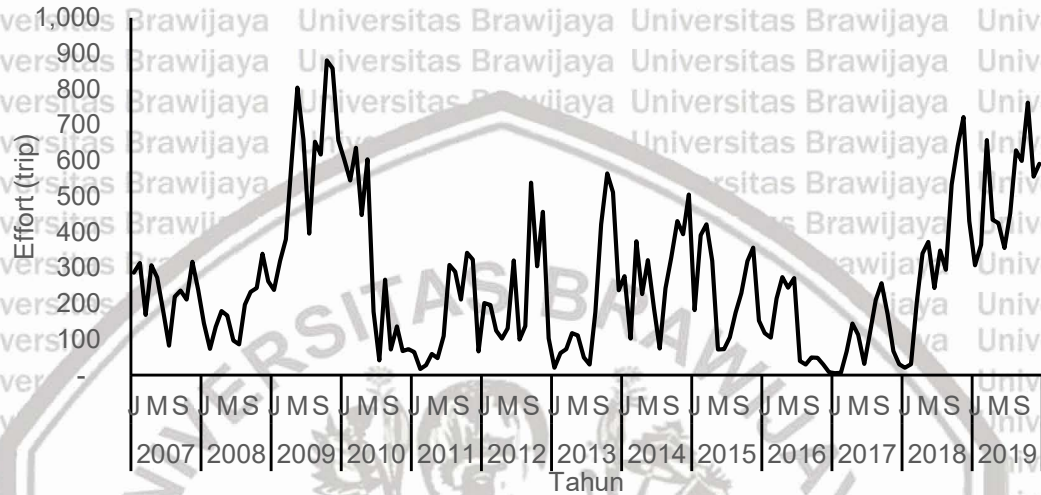
Selat Bali dicerminkan oleh nilai CPUE. Hasil analisis data produksi ikan lemuru, di peroleh nilai CPUE tertinggi adalah 9.69142 pada bulan oktober 2014, terendah terjadi pada tahun 2011 (Feb, Apr, Mei), 2013 (Feb), 2017 (Jan, Feb, Mei, Jun, Jul, Aug, Okt), 2018 (Jan, Feb, Mei, Jun) dengan hasil tangkapan null. Dinamika penangkapan yang didaratkan periode tahun 2007-2019, menunjukkan fluktuasi dengan puncak terjadi pada bulan oktober (2007, 2008, 2009, 2014, 2015, 2016, dan 2019), serta mengalami penurunan pada tahun 2010, 2011, 2012, 2013, 2017, dan 2018 (Gambar 24).



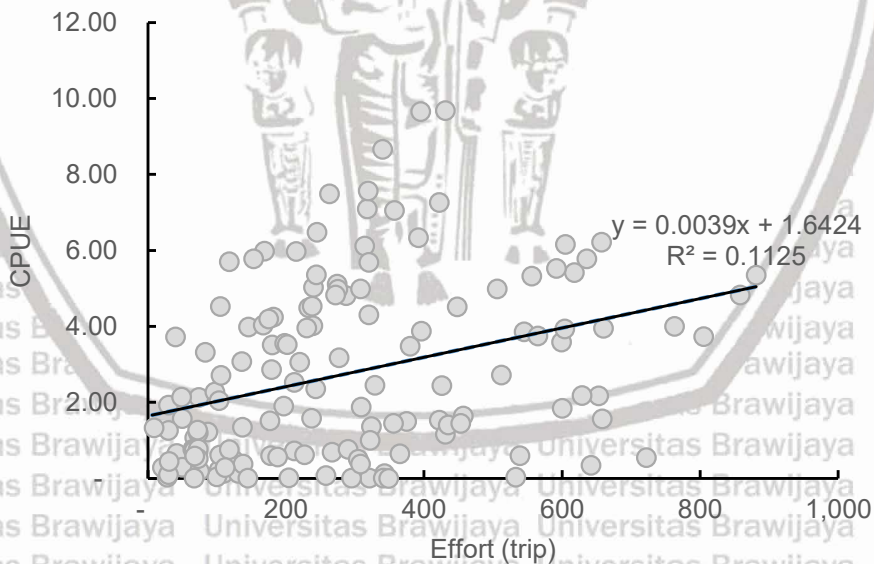
Gambar 24. Fluktuasi CPUE ikan lemuru di TPI Selat Bali

Fuktuasi hasil tangkapan ikan lemuru mengikuti siklus *upwelling* dan fenomena IOD, dimana terjadi kenaikan massa air atau *upwelling* dengan intensitas kuat (Setyohadi, *et al.*, 2021). Jumlah trip kapal penangkapan selama periode 2007 sampai dengan 2019 rerata 269 trip per bulan dan cenderung meningkat 1,00 % setiap tahunnya (Gambar 25). Kondisi ini menggambarkan tekanan terhadap sumberdaya ikan lemuru oleh kegiatan penangkapan dari tahun

ke tahun yang semakin besar. Hubungan linier CPUE dengan upaya tangkap menunjukkan hubungan positif yang digambarkan dalam persamaan $Y = 0.0039x + 1.6424$, dimana semakin tinggi upaya tangkap akan diikuti oleh tingginya nilai CPUE (Gambar 26).



Gambar 25. Perkembangan hasil tangkapan Ikan lemuru per trip di Selat Bali



Gambar 26. Hubungan CPUE dengan Effort di Selat Bali

Korelasi positif nilai CPUE dengan upaya tangkap menggambarkan bahwa produktifitas nelayan akan menurun jika jumlah upaya tangkap mengalami

peningkatan. Oleh karena itu, CPUE tidak bisa sebagai ukuran pasti terhadap kelimpahan ikan (Krisdiana, *et al.*, 2013). Hasil persamaan linera tersebut hanya menjelaskan sekitar 11,25%, sisanya 88,75% dipengaruhi variable diluar ke dua variable tersebut. Upaya mencari variabel lain digunakan analisis multivariat dari data multi-parameter hasil pengukuran lingkungan untuk mengklasifikasi, pembentukan model, dan interpretasi kumpulan data, dengan tujuan penyederhanaan data, ekstraksi informasi pendugaan kondisi kualitas perairan dan pengelolaannya (Iscen, *et al.*, 2008). Sebelum melakukan analisis, perlu dilakukan uji normalitas dan standarisasi data yang digunakan. Pola distribusi parameter kualitas perairan, dianalisis dengan korelasi Pearson untuk melihat hubungan antar parameter (Richard and Wichem, 2007).

Analisis data kondisi perairan di lokasi penangkapan dari data satelit merepresentasikan variasi perbedaan ruang dan waktu pengamatan. Hasil analisis menggunakan analisis faktor dengan metode Analisis Komponen Utama terhadap delapan variabel yang mempengaruhi kelimpahan ikan lemuru. Variabel yang mempengaruhi kelimpahan ikan lemuru berdasarkan kondisi oseanografi dan variasi iklim seperti SST, SSC, POC, PIC, PAR, SSD, DMI, dan NINO 3.4. *Principal component analysis* (PCA) mengubah parameter asli ke parameter baru yang tidak saling berkorelasi, disebut komponen utama, karena berupa kombinasi linear dari parameter asli. PCA memberikan cara obyektif dalam menemukan jenis parameter baru, sehingga variasi dalam data dapat dipertanggungjawabkan dan ringkas (Iscen, *et al.*, 2008; Varol and Sen, 2009). Matrik kovarian parameter asli menghasilkan nilai akar ciri (*eigenvalues*) dan *eigenvectors*. Pemilihan komponen utama yang mempunyai nilai terkecil, dikarenakan mengandung informasi yang banyak dalam menjelaskan keragaman dari parameter asli (Boyacıoğlu, 2006; Shrestha and Kazama, 2007).

Kecukupan data sampel dianalisis menggunakan nilai *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO), hasil awal analisis nilai KMO adalah 0,65. Signifikansi matriks korelasi dari seluruh variabel menggunakan Bartlett's test menunjukkan nilai 0,0001 mengindikasikan data penelitian berkorelasi antar variabel. Uji *Measure of Sampling Adequacy* (MSA) digunakan untuk melihat variabelnya dapat diprediksi atau tidak dengan nilai batas MSA > 0,50 (Varol, et al., 2009). Hasil analisis terdapat dua variabel yang memiliki nilai MSA < 0,50 yaitu variabel PIC dan SSD. Nilai MSA < 0,50 menunjukkan korelasi variabel tidak mencukupi, sehingga variabel tersebut tidak digunakan pada tahap analisis selanjutnya (Tabel 6).

Tabel 6. Nilai MSA dari matriks anti-image

Variabel	Nilai MSA
SST	0,689
SSC	0,798
POC	0,622
PIC	0,284
PAR	0,639
SSD	0,476
DMI	0,751
ENSO	0,608

Perbaikan analisis dengan menghilangkan variabel yang nilai MSA < 0,50 secara bertahap, mulai dari variabel dengan nilai MSA terkecil yaitu PIC, sehingga variabel menjadi tujuh. Variabel PIC yang telah dihilangkan menghasilkan matrik anti-image dengan nilai MSA < 0,50 selanjutnya adalah SSD (Tabel 7). Oleh karena itu pada tahap berikutnya variabel SSD juga tidak digunakan sehingga menjadi enam variabel. Hasil perbaikan variabel yang digunakan menjadi enam variabel dengan Nilai KMO 72,5%, signifikansi 0,0001 dan Nilai MSA > 0,50.

Tabel 7. Nilai MSA perbaikan

Variabel	Nilai MSA
SST	0,761
SSC	0,788
POC	0,706
PAR	0,632
DMI	0,781
ENSO	0,584

Melihat pengaruh dari masing-masing variable dari nilai komunalitas variabel, total variansi, dan nilai *rotated factor loading*. Nilai komunalitas variabel di atas 0,30 dapat menjelaskan komponen yang terbentuk sebesar 30%. Variabel yang mempunyai nilai komunalitas tertinggi adalah variabel POC (0,825), sedangkan terkecil variabel DMI (0,398). Variabel dengan nilai komunalitas < 0,50 tidak cukup memiliki penjelasan (Varol, *et al.*, 2009), akan tetapi penelitian ini tidak dilakukan penghapusan variabel tersebut karena mempertimbangkan keterkaitan DMI dengan dinamika oseanografi di Selat Bali. Nilai komunalitas masing-masing variable ditunjukkan pada Tabel 8.

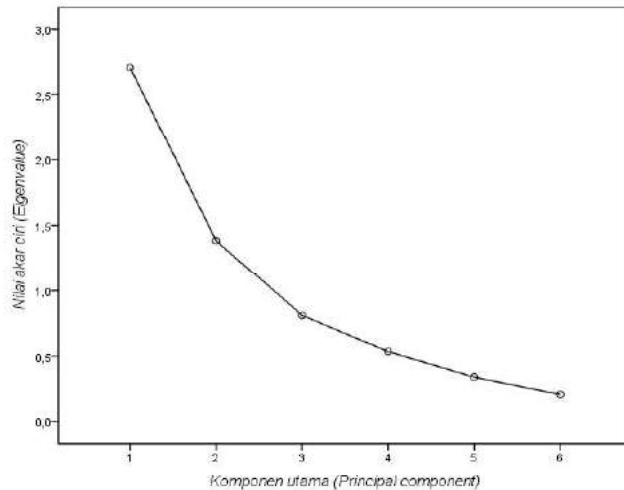
Tabel 8. Nilai komunalitas

Variabel	Nilai Komunalitas
SST	0,788
SSC	0,711
POC	0,825
PAR	0,704
DMI	0,398
ENSO	0,668

Variansi total memperlihatkan nilai eigen dan variansi dari setiap variabel, menunjukkan kepentingan relatif dari masing-masing faktor dalam menghitung variansi dari enam variabel. Seluruh komponen utama yang dihasilkan dari PCA (Gambar 6), hanya dua komponen yang berperan penting terlihat dari nilai akar ciri (eigenvalue) > 1 (Iscen, *et al.*, 2008; Varon and Sen, 2009). Nilai akar ciri tertinggi menunjukkan nilai signifikan dalam mewakili karakteristik perairan. Nilai akar ciri > 1,0 digunakan untuk menentukan jumlah PC yang mewakili seluruh variabel (Shrestha and Kazama, 2007). Hasil PCA menunjukkan 2 PC penting dimana PC pertama menggambarkan karakteristik perairan Selat Bali dan PC kedua menggambarkan karakteristik regional, secara kumulatif dapat menjelaskan ragam seluruh data sebesar 68,21%. PC yang terbentuk, sebanyak dua komponen dari total variansi dimana dapat menjelaskan kondisi perairan di lokasi penangkapan ikan lemuru sebesar 68,21 % (Tabel 9 dan Gambar 27).

Tabel 9. Nilai ekstraksi komponen baru

Komponen	Eigenvalue		
	Total	% Varian	% Kumulatif
1	2,708	45,137	45,137
2	1,384	23,072	68,209
3	0,813	13,549	81,759
4	0,537	8,956	90,715
5	0,343	5,725	96,439
6	0,214	3,561	100,000



Gambar 27. Diagram *scatterplot* pembentukan komponen

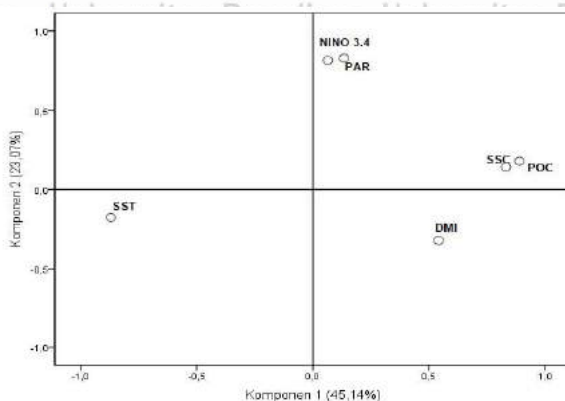
Identifikasi *loading factor* dari variabel setiap komponen baru dengan melihat matriks komponen yang dirotasi. Metode rotasi VARIMAX sebagai metode rotasi orthogonal yang menyederhanakan kolom matrik (Varol, *et al.*, 2009). Rotasi matrik komponen diperlukan dalam analisis komponen utama dan faktor, karena matrik komponen yang belum dirotasi kurang memberikan informasi cukup untuk mengategorikan variabel dalam komponen baru. Hasil matrik komponen yang telah dirotasi, memiliki *loading factor* > 0,50 terhadap komponen utama, dan masing-masing komponen utama memiliki lebih dari satu factor (Tabel 10).

Tabel 10. Matrik komponen yang telah dirotasi

Variabel	Komponen	
	1	2
SST	-0,870	-0,178
SSC	0,831	0,143
POC	0,890	0,180
PAR	0,135	0,828
DMI	0,542	-0,322
NINO 3.4		0,815

Liu, et al., (2003) mengelompokkan hasil PCA menjadi tiga kelompok berdasarkan nilai muatan PC (*factor loading*) yaitu kuat ($> 0,75$); sedang ($0,50-0,75$); dan lemah ($0,30-0,50$). Hasil pengelompokkan terhadap seluruh parameter perairan dan variasi iklim pada penelitian ini, berkategori kuat dan sedang (Tabel 10; Gambar 28). Karakteristik dari PC1 menyumbang 45,137% dari total ragam, yang dibangun oleh interaksi tiga parameter utama yaitu: SST, SSC, dan POC, dengan nilai terbesar pada parameter POC (0,89), sehingga mempengaruhi kondisi kesuburan perairan. PC2 menyumbang 23,072% dari ragam total data, dengan parameter utama yaitu PAR dan NINO 3.4. PAR dan NINO 3.4 sebagai parameter penting lainnya dalam mempengaruhi aktivitas penangkapan ikan lemuru.

Penggunaan PCA melihat parameter penting dinamika oseanografi dan variasi iklim mempengaruhi secara efektif kondisi perairan. Dua PC pertama dihasilkan dari PCA menjelaskan 68,21% dari keragaman data dari 6 parameter yang digunakan. PCA sebagai sarana mengidentifikasi parameter yang berkontribusi besar terhadap variasi spasial dan temporal kondisi oseanografi dan variasi iklim untuk kelimpahan ikan lemuru di Selat Bali. Hasil analisis PCA, dirumuskan komponen baru sebagai faktor dinamika oseanografi dan variasi iklim (Tabel 11). Secara subjektif dapat dirumuskan kedalam dua komponen baru dimana komponen pertama adalah komponen 'Dinamika Oseanografi Samudra Hindia', variabel tersebut menggambarkan kondisi perairan di lokasi penangkapan ikan lemuru. Komponen baru kedua adalah komponen 'Variasi Iklim Samudra Pasifik', variabelnya menggambarkan variasi iklim dimana fotosintesis aktif radiasi dipengaruhi oleh kondisi cahaya matahari.



Gambar 28. Plot analisis komponen utama berdasarkan parameter oseanografi dan variasi iklim

Tabel 11. Hasil analisis komponen utama (PCA)

Variabel	Kategori Komponen	Nama Komponen
SST	1	Dinamika Samudra Hindia
SSC	2	
POC		
DMI		
PAR		
NINO 3.4		Variasi Iklim Samudra Pasifik

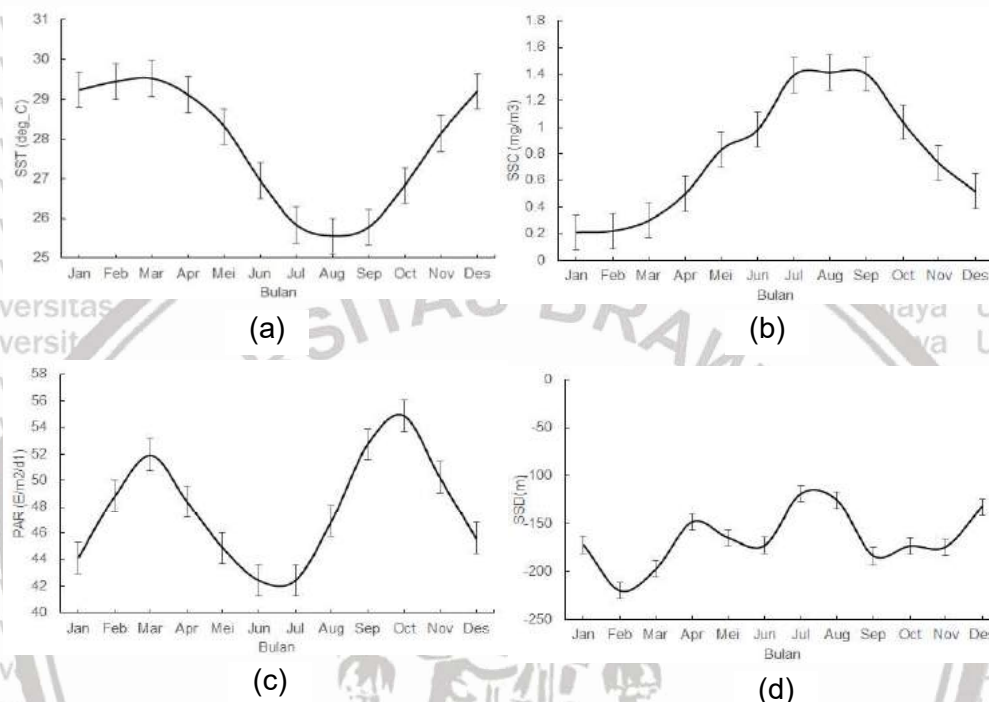
5.3 Model pendugaan kelimpahan ikan lemuru Selat Bali

Pendugaan kelimpahan ikan lemuru dengan model GAM, diperlukan eksplorasi data untuk membentuk persamaan GAM terhadap variabel penjelas (SST, SSC, POC, PIC, PAR dan SSD) dengan nilai *Variance Inflation Factors* (VIF) sebagai control. Nilai VIF digunakan untuk mengetahui ada tidaknya kolinearitas antar variabel penjelas. Indikasi koloneritas antar variable ditunjukkan oleh nilai VIF kurang dari 3 (Zuur, *et al.*, 2009). Nilai VIF lebih dari 3 terindikasi pada variabel POC dan PIC (Tabel 12), sehingga variable POC dan PIC tidak digunakan untuk pembentukan model pendugaan kelimpahan ikan lemuru. Parameter POC dan PIC yang telah dikeluarkan dilanjutkan melihat pola dari hasil tangkapan dan parameter lingkungan (SST, SSC, PAR dan SSD) (Gambar 29).



Tabel 12. Nilai VIF setiap variabel penjelas

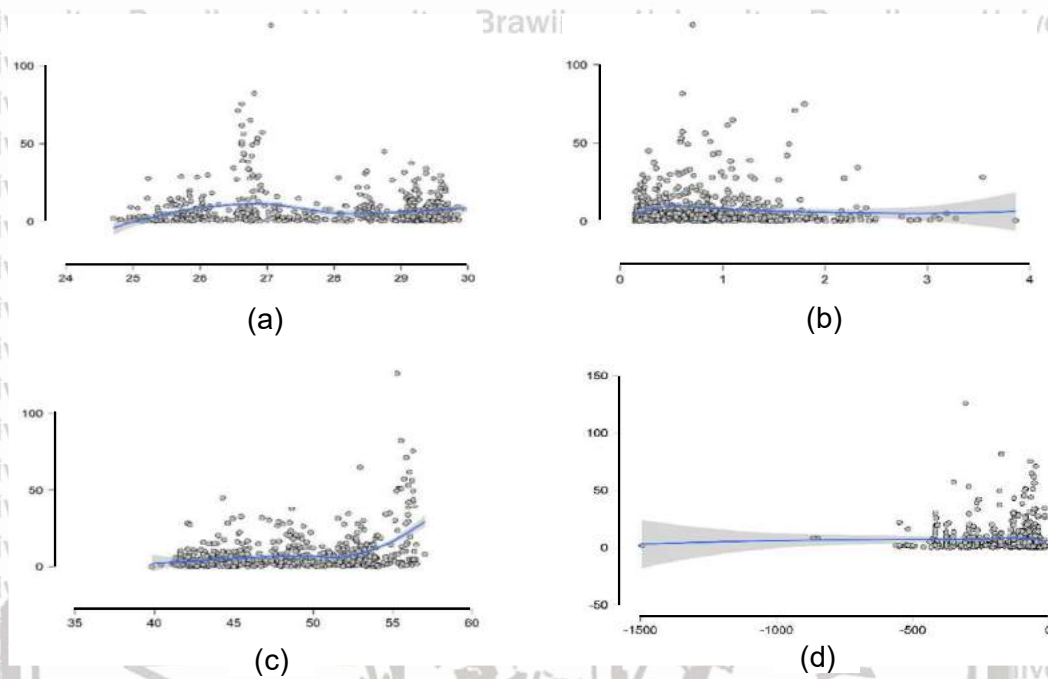
Variabel Penjelas	VIF
PAR	1.052
SSD	1.074
SST	2.518
SSC	2.537
POC	6.342
PIC	4.221



Gambar 29. Plot menunjukkan variasi parameter lingkungan (a) SST, (b) SSC, (c) PAR, dan (d) SSD rerata bulanan dari data satelit.

Pola tangkapan ikan lemuru pada periode September sampai November puncaknya di bulan oktober, dan penurunan terjadi di bulan Maret. Kondisi ini ditandai oleh peningkatan SST di bulan Maret dan penurunan terjadi pada bulan juli, dan kondisi sebaliknya terjadi pada parameter SSC. Parameter PAR menunjukkan ada dua puncak peningkatan yaitu pada bulan Maret dan Oktober. Kondisi parameter PAR mempunyai koherensi yang dipertimbangkan dengan penangkapan ikan lemuru. Parameter SST dan SSC berhubungan kuat dengan indikator kekayaan unsur hara yang tinggi di bulan Juni hingga November.

Kedalaman perairan di lokasi penangkapan ikan lemuru setiap bulannya bervariasi antara 30 hingga 220 m.



Gambar 30. Diagram hasil tangkapan ikan lemuru (ton) dengan parameter oseanografi (a) SST ($^{\circ}\text{C}$), (b) SSC (mg/m^3), (c) PAR ($\text{E}/\text{m}^2/\text{d}^1$), dan (d) SSD (m)

Plot lokasi tertangkapnya ikan lemuru dan parameter lingkungan (SST, SSC, PAR dan SSD) menunjukkan distribusi rentang variabel lingkungan perairan yang disukai. Kerapatan data menunjukkan rentang kejadian yang optimal pada lokasi tertangkapnya ikan lemuru (Sambah, *et al.*, 2021; Wijaya, *et al.*, 2021).

Berdasarkan data lingkungan diperoleh rentang nilai SST antara 24.71 hingga 29.94 $^{\circ}\text{C}$ dengan nilai SST optimum 27.71 ± 1.55 (Gambar 30 a), rentang nilai SSC antara 0.15 hingga 3.86 mg m^{-3} dengan nilai SSC optimal tercatat 0.81 ± 0.62 (Gambar 30 b), rentang nilai PAR antara 39.83 hingga 57.01 $\text{E m}^{-2} \text{d}^{-1}$ dengan nilai PAR optimum tercatat 48.23 ± 4.43 (Gambar 30 c), sedangkan nilai SSD antara 10.12 hingga 1494.36 m dengan nilai SSD optimum tercatat 166.68 ± 154.84 (Gambar 30 d).

Tabel 13. Deviance dan AIC masing-masing parameter.

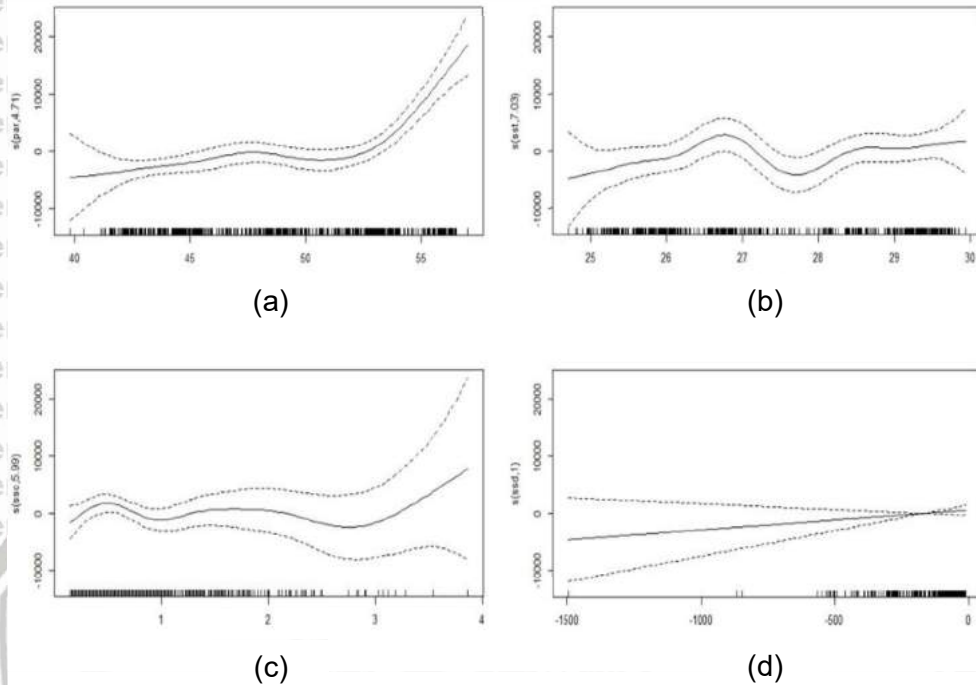
No	Model	P-value	AIC	CDE (%)
1	PAR	<2e-16 ***	15217.56	18.40
2	SST	<2e-16 ***	15290.25	10.40
3	SSC	0.047 *	15347.63	2.00
4	SSD	<2e-16 ***	15355.12	0.02

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Kondisi lingkungan perairan di lokasi penangkapan ikan lemuru yang telah diketahui secara spasial dan temporal, selanjutnya dibuat hubungan persamaan matematik dalam model GAM. Pembuatan persamaan model pertama kali dinilai setiap parameter secara individu, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil tangkapan ikan. Parameter dipilih berdasarkan nilai AIC terkecil, CDE tertinggi dan nilai p-value. Tabel 13 menunjukkan kekuatan dari setiap parameter individu. Hasil analisis parameter tunggal diperoleh parameter PAR lebih dominan terhadap penangkapan ikan lemuru diikuti oleh parameter lainnya. Ikan lemuru sebagai predator yang makan utama adalah plankton dan tertarik pada arah cahaya (Pertami et al. 2019a; Sartimbul et al. 2021). SSC menunjukkan kemungkinan daerah yang kaya nutrisi mengarah pada peningkatan produksi biologis dengan adanya PAR (Sambah, et al., 2021; Wijaya, et al., 2021).

Plot hasil GAM menunjukkan rentang distribusi dengan interval kepercayaan 95%, dimana batas keyakinan sempit menunjukkan relevansi tinggi dan batas keyakinan lebar menunjukkan rentang distribusi relevansi rendah. Parameter prediktor ikan lemuru, berdasarkan plot GAM menunjukkan parameter PAR ($p < 0.001$) rentang nilai 50 hingga 55 E m⁻² d⁻¹, parameter SSC ($p < 0.05$) rentang nilai 0,2 sampai 1 mg m⁻³, parameter SST ($p < 0.001$) rentang nilai 26 sampai 27 °C, dan parameter SSD ($p < 0.001$) kedalaman berkisar antara 60 dan 100 m (Gambar 31). Baris bawah pada plot GAM berdampak positif pada hasil tangkapan yang ditunjukkan oleh parameter PAR ($p < 0.001$), SST ($p < 0.001$), dan

SSC ($p < 0.05$), sedangkan parameter SSD ($p < 0.001$) menunjukkan pengaruh negative (Gambar 31).



Gambar 31. Efek yang diturunkan GAM dari variabel oseanografi (a) PAR, (b) SSC, (c) SST, dan (d) SSD pada hasil tangkapan ikan lemuru.

Model tunggal dari parameter yang dihasilkan dari GAM dilanjutkan dengan kombinasi parameter lingkungan. Hasil model GAM kombinasi terhadap pendugaan kelimpahan ikan lemuru ditunjukkan pada Tabel 14. Model menjelaskan penyimpangan 22.50% menggunakan semua variabel. Pada parameter PAR mampu menjelaskan deviasi tertinggi (18,40%) diikuti SSC, SST, dan SSD. Model yang dipilih menjelaskan deviasi CDE sebesar 22.5%, memiliki nilai AIC terendah sebesar 15208.44 dan p-value < 0.001 .

Tabel 14. Penyimpangan model GAM yang terbentuk

No	Model	P-value	AIC	CDE (%)
1	s(PAR)	<2e-16 ***	15217.56	18.40
2	s(SST)	<2e-16 ***	15290.25	10.40
3	s(SSC)	0.047 *	15347.63	2.00
4	s(SSD)	<2e-16 ***	15355.12	0.02
5	s(PAR)+s(SST)	<2e-16 *** 0.0207 *	15209.92	20.80
6	s(PAR)+s(SSC)	<2e-16 *** 0.127	15215.01	20.00
7	s(PAR)+s(SSD)	<2e-16 *** 0.172	15217.81	18.60
8	s(SST)+s(SSC)	<2e-16 *** 0.0324 *	15282.48	13.00
9	s(SST)+s(SSD)	<2e-16 *** 0.417	15291.55	10.50
10	s(SSC)+s(SSD)	0.0486 * 0.9192	15349.62	2.00
11	s(PAR)+s(SST)+s(SSC)	<2e-16 *** 0.0296 *	15207.68	22.40
12	s(PAR)+s(SST)+s(SSD)	<2e-16 *** 0.0120 * 0.0763.	15208.74	21.20
13	s(SST)+s(SSC)+s(SSD)	<2e-16 *** 0.0392 * 0.6727	15284.34	13.00
14	s(PAR)+s(SST)+s(SSC)+s(SSD)	<2e-16 *** 0.0355 * 0.275 0.212	15208.44	22.50

Berdasarkan nilai AIC yang terendah dan CDE tertinggi diperoleh model

GAM yang terbaik sebagai berikut:

$$\text{Catch ikan lemuru} = s(\text{PAR}) + s(\text{SST}) + s(\text{SSC}) + s(\text{SSD}) \dots \dots \dots (24)$$



Secara statistik, penggunaan smoothing factor pada variabel tersebut adalah signifikan ($p < 0.001$) terhadap pembentukan model GAM. Persamaan GAM tersebut digunakan untuk memprediksi kelimpahan ikan lemuru di Selat Bali.

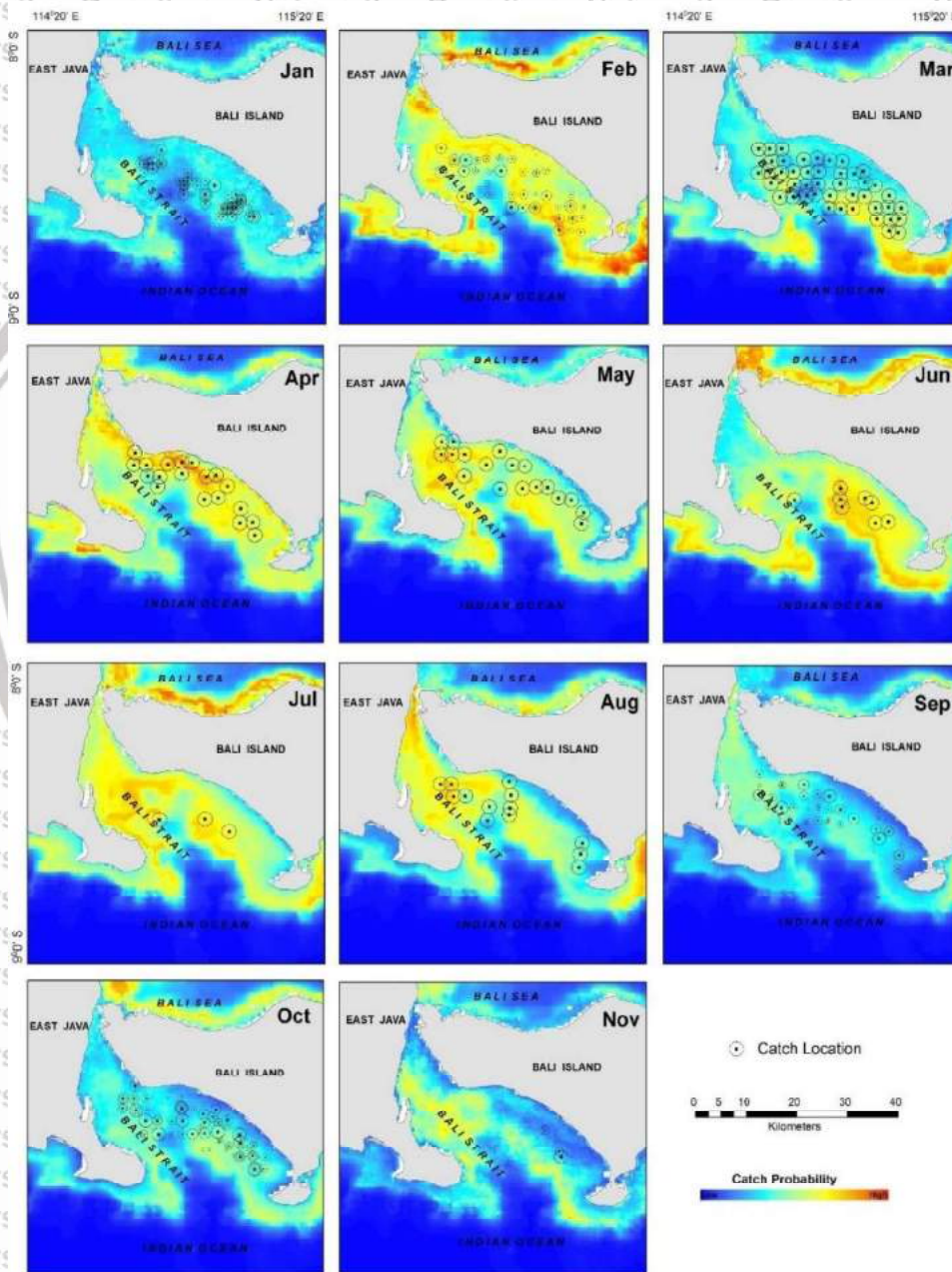
Persamaan yang terbentuk parameter PAR merupakan variabel yang berpengaruh terhadap kelimpahan ikan lemuru. Parameter PAR di perairan mempunyai peranan penting dalam proses reaksi fotosintesis yang dilakukan oleh fitoplankton (Wibawa 2012; Susilo dan Wibawa, 2016). Parameter SST berperan dalam pertumbuhan, aktifitas dan mobilitas, ruaya dan penyebaran ikan. Parameter SSC yang terdapat pada fitoplankton dapat mempercepat berlangsungnya proses fotosintesis dan memegang peranan penting dalam rantai makanan (Pertami et al 2019a). Parameter SSD berperan dalam proses kegiatan operasi penangkapan yang dilakukan oleh kapal pukat cincin dan proses upwelling yang ada di Selat Bali.

Penelitian sebelumnya, telah dilakukan pengembangan model prediksi spasial ikan lemuru di Selat Bali menggunakan GAM dengan parameter SST dan SSC (Sambah, *et al.*, 2021). Pendekatan kelimpahan ikan lemuru menggunakan pendekatan kelimpahan zooplankton (Susilo dan Wibawa 2016) dan kelimpahan diatom (Wibawa 2012). Kelimpahan zooplankton dan diatom sebagai lokasi keberadaan ikan lemuru menggunakan data SST, SSC dan PAR dari citra Satelit Aqua MODIS. Spesies diatom dan zooplankton sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan untuk proses makanan dari ikan lemuru, dengan demikian model tersebut memungkinkan pengguna akhir untuk memilih lokasi penangkapan.

Model prediksi menunjukkan raster berkode warna yang dihasilkan menggunakan model prediksi kelimpahan ikan lemuru yang optimal (Gambar 32).

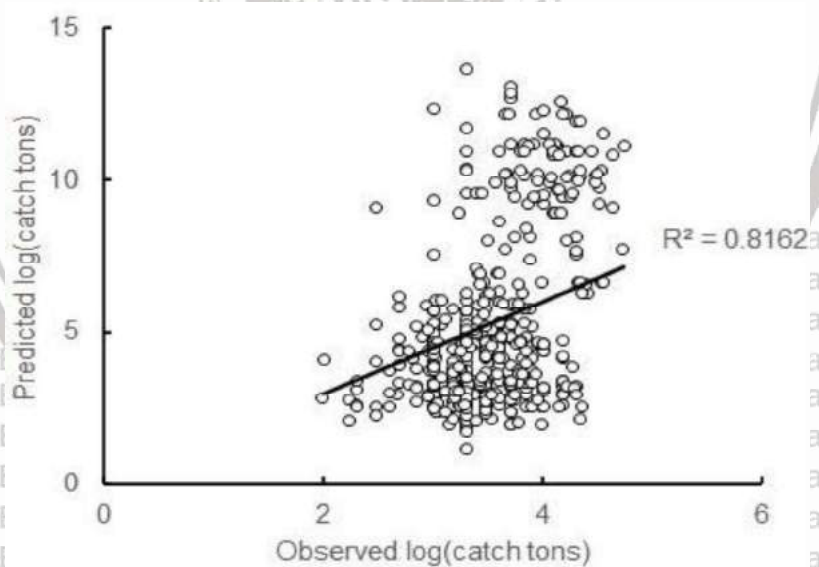
Sekitar 20% dari titik tangkapan ikan lemuru dipisahkan secara acak dari database yang tidak digunakan untuk penyusunan model. Poin-poin ini digunakan untuk

memvalidasi perkiraan wilayah yang disukai untuk penangkapan. Titik-titik ini diplot pada raster prediksi. Titik tangkapan yang tinggi ditemukan di sebagian besar lokasi penangkapan ikan lemuru yang optimal. Hasil pengamatan bahwa model tersebut sesuai dengan data pengujian, dimana lingkaran proporsional dengan raster probabilitas bulanan menunjukkan hasil tangkapan ikan lemuru.



Gambar 32. Prediksi kesesuaian raster yang dihasilkan untuk ikan lemuru.

Sebaran lokasi tangkapan ikan lemuru tersebar di seluruh wilayah studi dan diamatis bahwa lokasi tersebut bertepatan dengan wilayah prediksi tangkapan. Adanya titik-titik data pengujian hasil tangkapan ikan lemuru di wilayah probabilitas tinggi menunjukkan bahwa model tersebut memiliki kesesuaian yang baik dengan distribusi titik tangkapan. Prediksi hasil tangkapan ikan lemuru menunjukkan kesesuaian yang cukup besar dengan lokasi penangkapan ikan yang sebenarnya dari bulan Januari hingga November. Periode ini menunjukkan peningkatan yang konsisten dalam hasil tangkapan rerata selama periode penelitian, sehingga model tersebut berkinerja baik dalam memprediksi area yang menunjukkan peningkatan kelimpahan. Pengujian luaran model menunjukkan hubungan antara hasil tangkap yang diamati dan diprediksi adalah signifikan (Gambar 33). Hubungan yang signifikan antara hasil tangkapan ikan lemuru yang diamati dan yang diprediksi dari GAM ($r = 0,8162$) pada tingkat tangkapan rata-rata bulanan.



Gambar 33. Plot sebaran pengumpulan data bulanan yang diamati dengan diprediksi ($P < 0,001$, $r^2 = 0,8162$).

Model yang dihasilkan hanya menjelaskan 22.4% variabilitas kelimpahan ikan lemuru dan hanya didasarkan pada variabel lingkungan. Prediktor habitat

penting, bukan satu-satunya faktor yang mempengaruhi lokasi penangkapan ikan lemuru. Data yang mencakup lebih banyak tahun cenderung menghasilkan model yang lebih kuat dengan daya prediksi yang lebih besar. Pemahaman tentang keterkaitan antara proses fisik dengan biologis dan transfer bahan organik dihasilkan melalui jaring makanan di laut melibatkan beberapa macam interaksi. Interaksi berkaitan dengan paparan sel fitoplankton ke nutrisi remineralisasi di laut, paparan sel fitoplankton terhadap cahaya dan dinamika predator-mangsa. Proses biofisik gabungan merupakan indikator ekosistem sehat yang mendukung organisme hidup (McCarthy, *et al.*, 2002). Informasi tentang makanan, kebiasaan makan ikan dan lingkungan sangat penting untuk pemahaman yang lebih baik tentang riwayat hidup habitat termasuk pertumbuhan, pembiakan dan migrasi untuk pengelolaan sumber daya perikanan.



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Variabilitas spasial SST dan PAR mempunyai nilai varian di atas 80% secara spasial lebih kuat dan luas pengaruhnya di perairan Selat Bali. Parameter SSC dan POC dengan varian kurang dari 80% dan lebih dari 50%, menggambarkan variabilitas SSC dan POC relatif tinggi di sepanjang pantai Selat Bali. Parameter PIC dengan varian sebesar 34% mempunyai pengaruh yang lemah terhadap dinamika dan variabilitas perairan Selat Bali. Variasi temporal dari komponen utama di setiap mode memperlihatkan deret waktu SST, SSC dan POC mengikuti siklus musiman dan IOD, sedangkan PAR dan PIC mengikuti pola ENSO. Korelasi kuat positif parameter SST, dan kuat negatif parameter SSC dan POC dengan DMI, sedangkan korelasi kuat positif ENSO dengan parameter PIC dan kuat negatif dengan parameter PAR.

Parameter penting dinamika oseanografi dan variasi iklim terhadap kelimpahan ikan lemuru hasil analisis PC menunjukkan 68,21% keragaman total dari parameter. Secara subjektif dikelompokkan dalam dua komponen baru yaitu 'Dinamika Oseanografi' dengan variabel SST, SSC, POC dan IOD; dan 'Variasi iklim' dengan variabel PAR dan ENSO dalam mempengaruhi kelimpahan ikan lemuru.

Distribusi kelimpahan ikan lemuru dari data lokasi penangkapan dan variabel biofisik dari satelit, menjadi indikator kelimpahan habitat. Model GAM diterapkan untuk memprediksi kelimpahan ikan lemuru, dimana luaran model berkoherensi baik dengan respon spesies terhadap kondisi lingkungan.

Karakteristik model yang dihasilkan dapat menjelaskan kelimpahan ikan lemuru, melalui pengamatan parameter PAR, SSD, SST, dan SSC yang berperan penting

di perairan. Hasil model pendugaan kelimpahan ikan lemuru, menunjukkan kecocokan yang baik terhadap lokasi prediksi potensial tangkapan.

6.2 Kebaruan

Penelitian ini menghasilkan kebaruan tentang hubungan yang kuat (+) pada parameter SST, dan hubungan kuat (-) parameter SSC dan POC terhadap variasi iklim di Samudra Hindia (DMI), sedangkan variasi iklim di Samudra Pasifik (ENSO) berkorelasi kuat (+) dengan parameter PIC dan korelasi kuat (-) dengan parameter PAR. Parameter utama mempengaruhi kelimpahan ikan lemuru adalah Dinamika Oseanografi di Samudra Hindia (SST, SSC, POC dan IOD); dan variasi iklim di Samudra Pasifik (PAR dan ENSO). Persamaan matematis model kelimpahan adalah: $Catch \text{ ikan lemuru} = s(PAR) + s(SST) + s(SSC) + s(SSD)$, dengan kecocokan 82% terhadap lokasi prediksi kelimpahan.

6.4 Saran

Pemanfaatan sumberdaya ikan lemuru agar lestari, terukur dan optimum, diperlukan informasi kondisi lingkungan dan variasi iklim. Hasil peneliti ini menunjukkan hubungan yang kuat fenomena regional khususnya IOD dan kondisi oseanografi di Selat Bali, yang berperan dalam keberhasilan penangkapan.

Variabel yang menjadi faktor kunci selain nilai CPUE terdapat parameter dinamika perairan Samudra Hindia selatan Jawa (SST, SSC, POC, IOD) dan variasi iklim Samudra Pasifik (ENSO, PIC, PAR). Diketuainya factor kunci dinamika oseanografi dan variasi iklim dibuatlah model penduggan kelimpahan, sehingga menghasilkan persamaan yang optimum dari kombinasi variabel PAR, SSD, SST dan SSC. Informasi yang dihasilkan dalam penelitian ini untuk masyarakat nelayan membantu dalam pengetahuan terhadap kondisi lingkungan dan variasi iklim,

sehingga mampu menentukan kapan dan dimana kelimpahan ikan tinggi.

Pemahaman ini membantu masyarakat nelayan dalam perencanaan biaya operasional kapal agar lebih efektif dan efisien. Sedangkan bagi pengambil kebijakan informasi ini diperlukan untuk pemberian ijin jumlah kapan yang beroperasi, kapan boleh menangkap ikan dan zona mana yang diperbolehkan.

Penelitian ini juga masih terdapat kelemahan dari pengukuran sensor MODIS sehingga, peneliti menyarankan untuk memanfaatkan data variabel dinamika oseanografi di kedalaman tertentu guna mengetahui sebaran spasial, temporal dan vertikal kolom perairan kelimpahan ikan lemuru. Selain itu, kendala informasi lokasi tangkapan dan logbook tangkapan, sehingga perlu didukung data observer dari tenaga observer yang ikut kapal penangkapan. Hal ini diperlukan guna menjamin kualitas data tangkapan, dan mengetahui parameter lingkungan yang berhubungan dengan biologi ikan.



DAFTAR PUSTAKA

- Alvain, S., Moulin, C., Dandonneau, Y., and Breon, F.M. 2005. Remote Sensing of Phytoplankton Groups in Case 1 Waters from Global SeaWiFS Imagery. *Deep Sea Research Part I Oceanographic Research Papers* 52, 11: 1989 – 2004.
- Alvain, S., Gaurier, L.D., and Loisel, H. 2010. Observation of Ocean Colour Beyond Chlorophyll-a: From Particulate Organic Carbon Content and Size Distribution to Phytoplankton Functional Groups. in Morales, J. Stuart, V., Platt, T., Satyendranath, S. (eds.). *Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation: Application for Marine Living Resources Conservation and Management. EU PRESPO Project and IOCCG.*
- Amelia, C.D., Hasan, Z., dan Mulyani, Y. 2012. Distribusi Spasial Komunitas Plankton sebagai Bioindikator Kualitas Perairan. *J. Perik. Kel.* 3(4):301-311.
- Amri, K., Priatna, A., dan Suprpto. 2014. Karakteristik Oseanografi dan Kelimpahan Fitoplankton di Perairan Selat Sunda Pada Musim Timur. *Bawal*, 6(1), 11–20.
- Agustiadi, T., Hamzah, F., dan Trenggono, M. 2013. Struktur Komunitas Plankton di Perairan Selat Bali. *Omniakutika*, 12 (17)
- Bengen, D.G. 2000. Sinopsis Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir. *Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan – Institut Pertanian Bogor*. Bogor, Indonesia.
- Berlianty, D., and Yanagi, T. 2011. "Tide and Tidal Current in the Bali Strait, Indonesia." *Mar Res Indonesia* 36(2):25–36.
- Boyacioglu, H. 2006. Surface water quality assessment using factor analysis. *Water S.A.*, 32(3), 389-393.
- Fauziah., and Jaya, I. 2004. Pengembangan Perangkat Lunak Acoustic Description Analyzer (ADA-Versi 2004) untuk Identifikasi Kawan Ikan Pelagis. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*, Desember 2004. Jilid 11, No 2: 87-92
- Fauziah, A., Bengen, D.G., Kawaroe, M., Effendi, H., and Krisanti, M. 2019. Spatio-temporal distribution of microalgae producing chlorophyll and carotenoid pigments in Bali Strait, Indonesia. *Biodiversitas* 20: 61-67
- Gordon, A.L., Sprintall, J., Aken, H.M.V., Susanto, D., Wijffels, S., Molcard, R., Field, A., Pranowo, W., and Wirasantosa, S. 2010. The Indonesian Throughflow during 2004-2006 as observed by the INSTANT Program. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 50: 115–128. DOI: 10.1016/j.dynatmoce.2009.12.002
- Gordon, A.L. 2005. The Oceanography of the Indonesian Seas and their throughflow. *Oceanography*, 18(4): 14-27.
- Habibie, M.N., dan Nuraini, T.A. 2014. Karakteristik dan Tren Perubahan Suhu Permukaan Laut di Indonesia Periode 1982-2009. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Vol.15 No.1 Tahun 2014:37-49.
- Hannachi, A. 2004. A Primer for EOF Analysis of Climate Data. Department of Meteorology, University of Reading. *Reading RG6 6BB*, U.K
- Hendiarti, N., Suwarso, Aldrian, E., Amri, K., Andiastruti, R., Sachoemar, S.I., and Wahyono, I.B. 2005. Seasonal Variation of Pelagic Fish Catches Around Java. *Oceanography I*, 18(4), 112–123.
- Herawati, E.Y., Sartimbul, A., and Khasanah, R.I. 2014. Plankton Abundance and Diversity in Lemuru (*Sardinella lemuru*) Fishing Area in the Bali Strait Waters. ISOI X 2013. *Annual National Scientific Meeting*. 11-12 November 2014 Jakarta

- Hoepffner, N., Melin, F., Dowell, M., Marra, J., Saino, T., and Wilson, C. 2008. Biogeochemical Cycles. in Platt, T., Hoepffner, N., Stuart, V., and Brown, C. (eds.). IOCCG Report Number 7. Why Ocean Colour? The Social Benefits of Ocean-Colour Technology. *IOCCG*.
- Iscen, C.F., Emiroglu, O., Ilhan, S., Arslan, N., Yilmaz, V., and Ahiska, S. 2008. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. *Environmental Monitoring Assessment*, 144, 269-276.
- Iskandar, I., Masumoto, Y., and Mizuno, K. 2010. Observed Intraseasonal Oceanic Variations in the Eastern Equatorial Indian Ocean and the Outflow Straits of the Indonesia Throughflow. *J.Sci.* Vol.42 A, No.2, 2010, 107-126
- Iskandar, I., Putri A.U., Deni, O.L., Qurnia, W.S., M. Yusup N.K., Indra, Y., and Zulkifli, D. 2017. "Evolution of 2015 / 2016 El Niño and Its Impact on Indonesia Evolution of 2015 / 2016 El Niño and Its Impact on Indonesia." *AIP Conf Proc.*1857,080001-1-080001-5; DOI:10.1063/1.4987095.
- Iskandar, I., Wijaya, M., Dedi, S., and Pradanto, P. 2014. "Equatorial Oceanic Waves and the Evolution of 2007 Positive Indian Ocean Dipole." *Terr.Atmos.Ocean.Sci.*, 25, 847–56, doi:10.3319/TAO.2014.08.25.01(Oc).
- Iskandar, I., Irfan, M., and Syamsuddin, F. 2013. Why was the 2008 Indian Ocean Dipole a short-lived event? *Ocean Science Journal*. 48(2), 1-12.
- Jaya, I. 2002. Acoustical Study of the Schooling Behavior. *Fisheries Science* 68 (sup2):1881-1884. DOI: 10.2331/fishsci.68.sup2_1881.
- Khasanah, R.I., Sartimbul, A., dan Herawati, E.Y. 2013. Kelimpahan dan Keanekaragaman Plankton di Perairan Selat Bali. *Ilmu Kelautan*. Desember 2013. Vol 18(4):193-202
- Krisdiana, R.D., Iriana. D., Djunaedi, dan Dhahiyat, Y. 2013. Analisis Bio Ekonomi Mendidihang (*Thunnus albacores* Bonnaterre 1788) di wilayah pengelolaan perikanan Negara Indonesia. *Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran*.
- Kunarso., Hadi, S., Ningsih, N.S., dan Baskoro, M.S. 2011. Variabilitas Suhu dan Klorofil-a di Daerah Upwelling pada Variasi Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor. *Ilmu Kelautan*, 16(September), 171–180.
- Liu, C.W., Lin, K.H., and Kuo, Y.M. 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease area in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 313, 77-89.
- Merta, G.S., Iskandar, B., dan Bahar, S. 2004. Musim Penangkapan Ikan Pelagis Besar dalam Suwarso (eds.). *Musim Penangkapan Ikan di Indonesia*. Balai Riset Perikanan Laut, Badan Riset Kelautan dan Perikanan. Departemen Kelautan dan Perikanan.
- Merta, G.S. 1994. Review of The Lemuru Fishery in the Bali Strait. in Potier, M., Nurhakim, S. (eds.). Biology, Dynamics, Exploitation of the Small Pelagic Fishes in the Java Sea. *The Agency for Marine and Fisheries Research*.
- Merta, G.S., Widana, K., Yunizal, and Basuki, R. 1999. Status of the Lemuru Fishery in Bali Strait: Its Developments and Prospects. *Proceeding of Workshop on the Fishery and Management of Bali Sardinella (Sardiniella lemuru) in Bali Strait*. Denpasar 8-6 April 1999.
- McCarthy, J.J., Robinson, A.R., and Rothschild, B.J. 2002 Introduction: biological – physical interactions in the sea: emergent findings and new directions. In: Robinson, A.R., McCarthy, J.J., and Rothschild, B.J. (eds.) *The Sea*, Vol. 12. New York: *John Wiley & Sons*, pp. 1–17.
- Mugo, R., Saitoh, S., and Nihira, A. 2010. Habitat characteristics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western North Pacific: a remote sensing

- perspective. *Fisheries Oceanography*, 19(5), 382–396. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2010.00552.x>
- Napitu, A.M., Gordon, A.L., and Pujiana, K. 2017. Intraseasonal Sea Surface Temperature Variability across the Indonesian Seas. *Journal of Climate*. Vol.28, 8710-8727. DOI: 10.1175/JCLI-D-14-00758.1
- Ningsih, N.S., Hanifah, F., dan Kusmarani, A.M. 2018. Peranan Dinamika Oseanografi dalam Pengelolaan Sumberdaya Perikanan. *Journal of Fisheries and Marine Science* Vol. 2, No.2 Juli 2018.pp 116-127
- Ningsih, N.S., Rachmaputri, N., and Harto, A.B. 2013. Upwelling Variability along the Southern Coast of Bali and Nusa Tenggara Waters. *Ocean Sci. J.* 48 (1):49-57 <http://dx.doi.org/10.1007/s12601-013-0004-3>
- Nuryanto, D.E. 2012. Keterkaitan Antara Monsun Indo-Australia dengan Variabilitas Musiman Curah Hujan di Benua Maritim Indonesia Secara Spasial Berbasis Hasil Analisis Data Satelit TRMM. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Vol. 13 No.2 Tahun 2012; 91-102
- Noija, Donald, Sulaeman Martasuganda, Bambang Murdiyanto, dan Am Azbas Taurusman. 2014. Potensi dan Tingkat Pemanfaatan Sumberdaya Ikan Demersal di Perairan Pulau Ambon-Provinsi Maluku. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Parulian, H., Hendrawan, I.G., dan Suteja, Y. 2018. Analisis Hubungan Kelimpahan Plankton di Permukaan Terhadap Hasil Tangkapan Ikan Lemuru (*S. lemuru*) di Selat Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 4(1), 151–161.
- Pertami, N.D., Rahardjo, M.F., Damar, A., dan Nurjaya, I.W. 2019a. Makanan dan Kebiasaan Makan Ikan Lemuru, *S. lemuru* Bleeker 1853 di Perairan Selat Bali. *Jurnal Iktiologi Indonesia*. pp.143-155. doi.org/10.32491/jii.v19i1.444
- Pertami, N.D., Nurjaya, I.W., Damar, A., and Rahardjo, M.F. 2019b. The spatial pattern relationship between SST and chlorophyll-*a* in Lemuru Bleeker, 1853 catches in Bali strait, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 278, 012058.
- Rao, S.A., Jing-Jia, L., Swadhin, K., Behera, and Toshio, Y. 2009. "Generation and Termination of Indian Ocean Dipole events in 2003, 2006 and 2007." *Climate Dynamics* 33(6):751–67
- Rasdihan. 2003. Statistik Terapan. Jakarta: Gramedia Group.
- Ratnawati, H.I., Hidayat, R., Bey, A., June, T. 2016. Upwelling di Laut Banda dan Pesisir Selatan Jawa serta Hubungannya dengan ENSO dan IOD. *Omni-Akuatika*, 12(3), 119–130.
- Richard, J., and Wichern, D. 2007. Applied Multivariate Statistical Analysis. 6th Edition, New Jersey: Prentice-Hall.
- Rintaka, W.E., Setiawan, A., Susilo, E., Trenggono, M. 2014. Variasi Sebaran Suhu, Salinitas, dan Klorofil terhadap Jumlah Tangkapan Lemuru di Perairan Selat Bali Saat Muson Tenggara. *Prosiding PIT X ISOI*, pp 20–31.
- Robinson, I.S. 2010. Discovering the Ocean from Space, The Unique Applications of Satellite Oceanography. *Springer*. The United Kingdom.
- Saitoh, K., Saitoh, S. 2008. Prediction of Sardine Fishing Ground as Determined by Multi-Sensor Remote Sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sensing*. Vol.5. p.67–83
- Saji, N.H., Goswami, B.N., Vinayachandran, P.N., Yamagata, T. 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature* 401:360-363
- Sambah, A.B. 2006. Analisis Citra NOAA/AVHRR dan Catch Effort Survey Sebagai Dasar Pendugaan Potensi Sumberdaya Ikan Pelagis (Studi Kasus Perairan Kabupaten Jember). *Tesis* (Tidak Dipublikasikan). Program Pascasarjana ITS. Surabaya. Pp. 110.

- Sambah, A.B., Wijaya, A., Hidayati, N., and Iranawati, F. 2021 Sensitivity and Dynamic of *S. lemuru* in Bali Strait Indonesia. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 28 (1), pp. 97-109.
- Sambah, A.B., Miura, F., Kadarisman, H.P., Sartimbul, A. 2012. Remote sensing application for *S. lemuru* assessment: a case study of the southern waters of Malang Regency, East Java, Indonesia, (October), 85250M. <https://doi.org/10.1117/12.976284>
- Sartimbul, A., Nakata, H., Rohadi, E., Yusuf, B., Kadarisman, H.P. 2010. Variations in chlorophyll-a concentration and the impact on *S. lemuru* catches in Bali Strait, Indonesia. *Progress in Oceanography*, 87(1-4), 168-174. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2010.09.002>
- Sartimbul, A., Iranawati, F., Sambah, A.B., Yona, D., Hidayati, N., Harlyan, L.I., Fuad, M.A.Z., Sari, S.H.J. 2017. Pengelolaan Sumberdaya Perikanan Pelagis di Indonesia. *UB Press*
- Sartimbul, A., Rohadi, E., Yona, D., Yuli, H.E., Sambah, A.B., Arleston, J. 2018. Change in species composition and its implication on climate variation in Bali Strait: A case study in 2006 and 2010. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 4(2), 38-46.
- Sartimbul, A., Kasitowati, R.D., Izza, M.K., and Fauzia, S.S. 2021 High catch of *S. lemuru* (Bleeker, 1853) and plankton abundance in Prigi Water: Case Study in 2017 and 2019. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 744, 012071.
- Setiawati, M.D., Sambah, A.B., Miura, F., Tanaka, T., As-syakur, A.R. 2015. Characterization of Bigeye Tuna Habitat in The Southern Waters off Jawa-Bali using Remote Sensing Data. *Advances in Space Research* 55 (2015) 732-746. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2014.10.007>
- Setyohadi, D. 2011. Pola Distribusi Suhu Permukaan Laut Dihubungkan dengan Kepadatan dan Sebaran Ikan Lemuru (*S. lemuru*) Hasil Tangkapan Purse Seine di Selat Bali. *J-PAL*, 1(2), 119-123.
- Shrestha, S., and Kazama, F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji River Basin; Japan. *Environmental Modelling & Software*, 22, 464-475.
- Simbolon, D., Wiryawan, B., Wahyuningrum, P.I., dan Wahyudi, H. 2011. Tingkat Pemanfaatan dan Pola Musim Penangkapan Ikan Lemuru di Perairan Selat Bali. *Buletin PSP XIX* (3), Desember 2011
- Siregar, V., dan Hariyadi. 2011. Identifikasi Parameter Oseanografi Utama untuk Penentuan Daerah Penangkapan Ikan Lemuru dengan Menggunakan Citra Satelit MODIS di Perairan Selat Bali. *Jurnal Akuatik*, 1(1): 32-38
- Solomonson, V.V., William, B., and Edward, J.M. 2006. Introduction to MODIS and an Overview of Associated Activities. In John, J., Qu, W.G., Menas, K., Robert, E.M., Vincent, V.S. (Eds.). *Earth Science Satellite Remote Sensing. Science and Instruments Volume 1. Tsinghua University Press and Springer-Verlag.*
- Sujianto. 2003. Aplikasi Teknologi Akustik untuk Mendeteksi Ikan Pelagis Kecil di Selat Bali. *Buletin Teknik Litkayasa Sumberdaya dan Penangkapan*. Volume 1. Tahun 2003, 37-41
- Sukresno, B., Jatisworo, D., dan Kusuma, D.W. 2018. Analisis Multilayer Variabilitas Upwelling di Perairan Selatan Jawa. *Jurnal Kelautan Nasional*. Vol.13, No.1, April 2018. hal 15-25
- Suniada, K.I., dan Susilo, E. 2018. Keterkaitan Kondisi Oseanografi dengan Perikanan Pelagis Kecil di Selat Bali. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 23(4), 275-286. <https://doi.org/10.15578/jppi.23.4.2017.275-286>
- Susilo, E., dan Wibawa, T.A. 2016. Pemanfaatan Data Satelit Oseanografi untuk Memprediksi Daerah Penangkapan Ikan Lemuru Berbasis Rantai Makanan

- dan Pendekatan Statistik GAM. *Jurnal Kelautan Nasional*. Vol.11, No.2 Agustus 2016. Hal 77-87
- Susilo, E. 2015. Variabilitas Faktor Lingkungan Pada Habitat Ikan Lemuru di Selat Bali Menggunakan Data Satelit Oseanografi dan Pengukuran Insitu. *Omni-Akuatika*, XIV (20), 13–22.
- Susilo, E., Wibawa, T.A., dan Wijaya, A. 2015. Pendugaan daerah penangkapan ikan lemuru di Selat Bali berbasis rantai makanan menggunakan data satelit oseanografi. *Prosiding Seminar Nasional Geografi*, 443–450.
- Susilo, E., dan Pancawati, Y. 2014. Distribusi Spasial Kelimpahan Plankton di Selat Bali. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan*. Balai. Riset dan Observasi Laut tahun 2014. 174-184
- Suwarso, Hariati, T. Sadhotomo, B., Atmaja, S.B., dan Wudianto. 2004. Musim Penangkapan Ikan Pelagis Kecil. dalam Suwarso (eds.) Musim Penangkapan Ikan di Indonesia. *Balai Riset Perikanan Laut*, Badan Riset Kelautan dan Perikanan. Departemen Kelautan dan Perikanan.
- Syah, A.F., Setyowati, N., and Susilo, E. 2019. Preliminary Findings on Distribution of Bali Sardinella (*S. lemuru*) in Relation to Oceanographic Conditions during Southeast Monsoon in Bali Strait Using Remotely Sensed Data. *Journal of Marine Science*. Vol. 01. Issue 01. April 2019. 25-30
- Syahailatua, A. 2008. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Perikanan. *Oseana*, Vol XXXIII, No 2, Tahun 2008: 25-32
- Varol, M., and Sen, B. 2009. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of Behrimaz Stream, Turkey. *Environ. Monit. Assess.*, 159, 543-553.
- Wibawa, T.A. 2011. Pemanfaatan Data Satelit Oseanografi untuk Prediksi Daerah Potensial Penangkapan Tuna Mata Besar (*Thunnus obesus*) di Samudra Hindia Selatan Jawa-Bali. *Jurnal Segara* 7(1): 29-41.
- Wibawa, T.A. 2012. Pemanfaatan Data Harian Sensor MODIS Aqua/Terra untuk Memperkirakan Sebaran Kelimpahan Diatom di Selat Bali. *Jurnal Kelautan Nasional* 7(2): 120-132.
- Wijaya, A., Zakiyah, U., Sambah, A.B, Setyohadi, D. 2020a. Spatio-temporal variability of temperature and chlorophyll-a concentration of sea surface in Bali Strait, Indonesia. *Biodiversitas* 21: 5283-5290.
- Wijaya, A., Zakiyah, U., Sambah, A.B., dan Setyohadi, D. 2020b. Pola Musim Penangkapan *S. lemuru* di Selat Bali. In: Radiarta dan Sidik. (ed.) Sumber Daya Laut dan Pesisir Perairan Selat Bali. *PT Media Sains Nasional*, Bogor, pp: 67-77.
- Wood, S.N. 2006. Generalized additive models: An introduction with R. *Chapman and Hall/CRC*.
- Wudianto., dan Wujdi, A. 2014. Variasi ukuran ikan lemuru (*S. lemuru* Bleeker 1853) secara temporal dan spasial di perairan Selat Bali *J. Lit.Perik. Ind.* 20 (1):9-17.
- Wudianto. 2001. Analisis Sebaran dan Kelimpahan Ikan Lemuru (*S. lemuru* Bleeker 1853) di Perairan Selat Bali; Kaitannya dengan Optimasi Penangkapan. *Disertasi* (Tidak Dipublikasikan). Program Pascasarjana IPB. Bogor. 215 p.
- Wudianto., Merta, I.G.S., dan Monintja, D.R. 2002. Ukuran ikan lemuru (*S. lemuru* Bleeker 1853) di perairan Selat Bali berdasarkan waktu dan daerah penangkapan. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia Edisi Sumberdaya dan Penangkapan*. 8 (1): 103-111
- Zainuddin, M., Farhum, A., Safruddin, S., Selamat, M.B., Sudirman, S., Nurdin, N., and Saitoh, S.I. 2017. Detection of pelagic habitat hotspots for skipjack tuna in the Gulf of Bone-Flores Sea, southwestern Coral Triangle tuna, Indonesia

Detection of pelagic habitat hotspots for skipjack tuna in the Gulf of Bone-Flores Sea, southwestern Coral Triangle tuna. *PLoS ONE*, 12(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.018560>

Zainuddin, M., Saitoh, K., and Saitoh, S. 2008. Albacore (*Thunnus alalunga*) Fishing Ground in Relation Oceanographic Conditions in the Western North Pacific Ocean Using Remotely Sensed Satellite Data. *Fisheries Oceanography*. 17:2. p.61-73.

Zainuddin, M., Kiyofuji, S.K., and Saitoh, S. 2006. Using Multi-Sensor Satellite Remote Sensing and Catch Data to Detect Ocean Hot Spot for Albacore (*Thunnus alalunga*) in the Northwestern Pacific. *Deep-Sea Research II*. 53. p.419-431.

Zakiyah, U., Herawati, E.Y., and Kusriani. 2015. "Assessment of Trophic Status in Bali Strait." *Research Journal of Life Science* 02(03):189-98

Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A., and Smith, G.M. 2009. Mixed Effect Models and Extension in Ecology with R. *Springer*.

