

DISERTASI

**PREDIKSI HABITAT DAN POLA PERGERAKAN IKAN
CAKALANG (*Katsuwonus pelamis*) DI WILAYAH PENGELOLAAN
PERIKANAN NEGARA REPUBLIK INDONESIA 713 BERBASIS
DATA CITRA SATELIT OSEANOGRAFI**

**HABITAT PREDICTION AND MOVEMENT PATTERN OF SKIPJACK
TUNA (*Katsuwonus pelamis*) IN INDONESIA FISHERIES
MANAGEMENT AREA 713 BASED ON SATELLITE
OCEANOGRAPHIC DATA**

RACHMAT HIDAYAT

L013181005



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**PREDIKSI HABITAT DAN POLA PERGERAKAN IKAN
CAKALANG (*Katsuwonus pelamis*) DI WILAYA PENGELOLAAN
PERIKANAN NEGARA REPUBLIK INDONESIA 713 BERBASIS
DATA CITRA SATELIT OSEANOGRAFI**

**HABITAT PREDICTION AND MOVEMENT PATTERN OF SKIPJACK
TUNA (*Katsuwonus pelamis*) IN INDONESIA FISHERIES
MANAGEMENT AREA 713 BASED ON SATELLITE
OCEANOGRAPHIC DATA**

Disertasi
Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor

Program Studi
Ilmu Perikanan

Disusun dan diajukan oleh

**RACHMAT HIDAYAT
L013181005**

Kepada

**DOCTORAL PROGRAM IN FISHERIES SCIENCE
FACULTY OF MARINE SCIENCE AND FISHERIES
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

HALAMAN PENGESAHAN DISERTASI

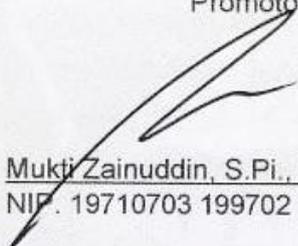
Prediksi Habitat dan Pola Pergerakan Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 713 Berbasis Data Citra Satelit Oseanografi

Disusun dan diajukan oleh:

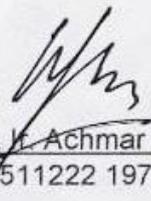
RACHMAT HIDAYAT
L013181005

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

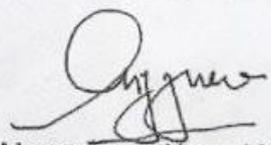
Promotor,


Mukti Zainuddin, S.Pi., M.Sc., Ph.D
NIP. 19710703 199702 1 002

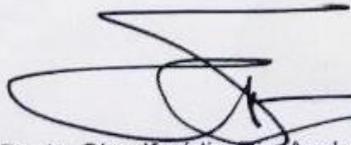
Co. Promotor,


Prof. Dr. J. Achmar Mallawa, DEA
NIP. 19511222 197603 1 001

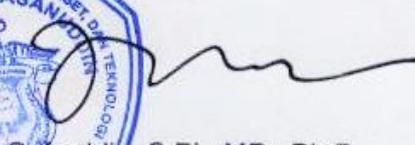
Co. Promotor,


Dr. Muzneena Ahmad Mustapha
NIP.

Ketua Program Studi
S3 Ilmu Perikanan,


Prof. Dr. Ir. Sharifuddin Bin Andy Omar, M.Sc
NIP. 19590223 198811 1 001

Dekan Fakultas Ilmu Kelautan
dan Perikanan,


Safruddin, S.Pi., MP., Ph.D
NIP. 19750611 200312 1 003



Tanggal lulus: 18 Oktober 2021

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

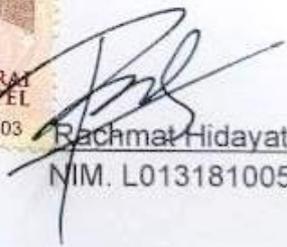
Nama : Rachmat Hidayat
NIM : L013181005
Program Studi : Ilmu Perikanan
Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

Menyatakan bahwa disertasi dengan judul: "Prediksi Habitat dan Pola Pergerakan Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 713 Berbasis Data Citra Satelit Oseanografi"

ini adalah karya penelitian saya sendiri dan bebas dari plagiasi. Pada disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik, juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali digunakan sebagai acuan dalam naskah ini, yang artinya sumber disebutkan sebagai referensi, dan dituliskan pula di daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiasi dalam karya ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan terkait (Permendiknas No. 17, tahun 2007).

Makassar, 1 Desember 2021




Rachmat Hidayat
NIM. L013181005

PERNYATAAN KEPEMILIKAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

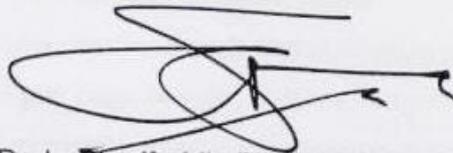
Nama : Rachmat Hidayat
NIM : L013181005
Program Studi : Ilmu Perikanan
Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

Menyatakan bahwa disertasi dengan judul: "Prediksi Habitat dan Pola Pergerakan Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 713 Berbasis Data Citra Satelit Oseanografi"

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

Mengetahui,

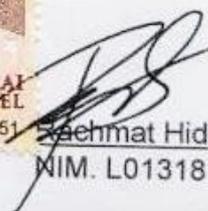
Ketua Program Studi
S3 Ilmu Perikanan,



Prof. Dr. Ir. Sharifuddin Bin Andy Omar, M.Sc.
NIP. 19590223 198811 1 001

Makassar, 1 Desember 2021

Penulis



Rachmat Hidayat
NIM. L013181005

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya. Salawat dan salam juga penulis panjatkan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang selalu menjadi suri teladan bagi kita semua. Syukur alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan disertasi berjudul “Prediksi Habitat dan Pola Pergerakan Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 713 Berbasis Data Citra Satelit Oseanografi” dengan baik. Disertasi ini ditulis sebagai tugas akhir untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Doktor Ilmu Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin.

Penelitian ini dilaksanakan secara bertahap pada tahun 2018-2021. Pendanaan penelitian ini diperoleh dari Program Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) *batch* ke-3. Hasil penelitian ini telah dipublikasi dalam bentuk artikel ilmiah pada 3 jurnal internasional bereputasi terindeks Scopus, 4 prosiding internasional terindeks Scopus dan dipresentasikan pada seminar Internasional sebanyak 5 *event*.

Penulis menyadari bahwa tidak sedikit hambatan yang dialami sehingga kadang memengaruhi semangat penulis. Namun berkat kesabaran, kerja keras, dorongan dan motivasi yang diberikan dari berbagai pihak kepada penulis sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

Oleh karena itu, secara khusus penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Almarhum Ayahanda tercinta Drs. Kamal Sam dan Ibunda tercinta Salmah, SP., untuk semua pengorbanan yang tak terkira besarnya, kasih sayang dan doa tulus selama hidup penulis yang menjadi kekuatan dan semangat bagi penulis. Adikku tercinta Angriani, S.Pi yang selalu memotivasi penulis untuk menjadi seorang kakak yang bisa dibanggakan.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini tidak mungkin terwujud tanpa adanya bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Karenanya dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang tulus dan tak terhingga kepada:

1. Bapak Mukti Zainuddin, S.Pi., M.Sc., Ph.D. selaku promotor sekaligus orang tua di kampus atas segala nasihat, bantuan dan bimbingan yang telah diberikan semenjak penulis memulai studi di Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan hingga selesainya disertasi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Achmar Mallawa, DEA dan ibu Accoc. Prof. Dr. Muzzneena Ahmad Mustapha. selaku co-promotor atas segala nasihat, bantuan dan bimbingan yang telah diberikan semenjak penulis memulai program S3 hingga selesainya disertasi ini.

3. Tim penguji, Bapak Prof. Dr. Ir. Musbir, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Najamuddin, M.Sc., Safruddin, S.Pi., MP., Ph.D. dan Dr. Muhammad Banda Selamat, S.Pi, MT., yang telah banyak memberikan saran dan perbaikan demi meningkatkan kualitas dari disertasi ini.
4. Bapak Safruddin, S.Pi., MP., Ph.D. selaku Dekan FIKP UNHAS masa bakti 2021 – 2025 yang selalu memberikan support kepada penulis
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Sharifuddin Bin Andy Omar, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Perikanan atas segala nasihat dan arahan selama penulis berstatus sebagai mahasiswa program doktoral.
6. Ibu Dr. Ir. St. Aisjah Farhum, M.Si. selaku Dekan FIKP UNHAS masa bakti 2017 – 2021 dan ibu bagi penulis selama menempuh studi.
7. Safruddin, S.Pi., MP., Ph.D., Dr. Nursinah Amir, S.Pi., MP., Dr. Ir. Mahfud Palo, M.Si., Kasmianti, STP., MP., Ph.D., Moh Tauhid Umar, S.Pi. MP., Prof. Dr. Ir. Metusalach, M.Sc. dan Alm. Prof. Dr. Ir. Sudirman, M.Pi, selaku dosen, senior bahkan memosisikan diri sebagai kakak dan memberikan banyak sekali dukungan dalam segala hal bagi penulis hingga sekarang.
8. Dosen-dosen Program Studi PSP UNHAS, yang telah memberikan banyak nasihat dan pengalaman manajerial kepada penulis
9. Bapak Muh. Sadik dan keluarga yang telah bersedia menyediakan tempat tinggal selama penulis berada di lokasi penelitian.
10. Rekan sepromotor, Dr. Andi Rani Sahni Putri, S.Pi., yang selalu memosisikan diri sebagai kakak dan mendengarkan segala keluh kesah penulis selama studi di FIKP Unhas.
11. Teman-teman diskusi, A. Resky Arbaim, Dr. A. Muliarni Okasa, Amriana, Dr. Ega Adhi Wicaksono, Sufardin, Nurjirana, Zabhika Dinda Itsnaeni, S.Pi., dan Nur Abrianti Islamiah Baharuddin, S.Pi., M.Si. terima kasih telah menemani penulis dalam suka maupun duka dalam menyelesaikan disertasi.
12. Saudara-saudari seperjuanganku Fiskery Tolv / PSP #12, Magister Ilmu Perikanan 2017 khususnya Kelas B, Program Studi Doktor Ilmu Perikanan 2018, serta rekan PMDSU UNHAS *Batch* 3 untuk seluruh kisah yang tak terlupakan, serta kebersamaan, kerjasama dan bantuan selama pendidikan berlangsung.
13. Teman-teman PMDSU *Batch* 3 terkhusus grup gibah: Dr. Alexander P. Nugraha, Dr. Khairul Fahmi, Dr. Reka Mustika Sari, Dr. Dwi Larasati, Wendi Fadillah M.Si, M. Arif Ansori, Zuyyinna Choirunisa dan Nesty P. Romadini, yang telah membuat penulis termotivasi melihat pencapaiannya.

14. Dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu persatu, terima kasih telah memberi kontribusi dalam pemenuhan data, pengolahan maupun penulisan disertasi.

Penulis menyadari bahwa penulisan disertasi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis dengan hati dan tangan terbuka mengharapkan saran dan kritik membangun demi kesempurnaan tulisan yang akan datang.

Makassar, 1 Desember 2021



Rachmat Hidayat

RINGKASAN

Rachmat Hidayat. L013181005. "Prediksi Habitat dan Pola Pergerakan Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 713 Berbasis Data Citra Satelit Oseanografi" dibimbing oleh Mukti Zainuddin sebagai promotor, Achmar Mallawa dan Muzzneena Ahmad Mustapha sebagai Co-promotor.

Cakalang merupakan spesies ikan yang memiliki nilai ekonomis penting dengan sebaran yang luas di dunia. Penggunaan metode peramalan dalam memprediksi daerah penangkapan yang tepat akan sangat mendukung peningkatan produksi ikan cakalang. Daerah penangkapan ikan cakalang memiliki hubungan yang sangat kuat dengan parameter oseanografi. Tujuan penelitian ini adalah, pertama (Bab II) menganalisis karakteristik oseanografi di setiap perairan di WPP-NRI 713, kedua (Bab III) mengkaji perbedaan karakteristik habitat ikan cakalang dewasa dan belum dewasa, ketiga (Bab IV) menganalisis pengaruh fenomena *front* dan *eddies* terhadap distribusi dan pola perpindahan ikan cakalang di WPP-NRI 713, dan yang keempat (Bab V) mengembangkan model spasial untuk peramalan daerah potensial penangkapan ikan cakalang.

Tujuan pertama diselesaikan menggunakan uji korelasi antara data satelit dan data observasi suhu permukaan laut dan salinitas untuk memvalidasi kedua data tersebut. Selain itu, penilaian juga menggunakan rata-rata sebaran nilai setiap parameter pada masing-masing perairan di WPP-NRI 713, kemudian dilanjutkan dengan melihat variasi anomali nilai rata-rata untuk menentukan model atau pola musiman dari setiap variabel di setiap perairan. Tujuan kedua diselesaikan menggunakan metode analisis *Generalized Additive Model* (GAM) dan *Empirical Cumulative Distribution Function* (ECDF) untuk mengkaji hubungan parameter lingkungan terhadap hasil tangkapan. Selanjutnya referensi pengamatan organoleptik digunakan untuk menentukan batas dewasa ikan dan dilanjutkan dengan analisis *pelagic habitat index* (PHI) untuk menunjukkan karakteristik habitat ikan cakalang dewasa dan belum dewasa. Selanjutnya dilakukan uji t untuk menganalisis perbedaan karakteristik habitat ikan yang ditangkap menggunakan alat bantu rumpon dan tanpa rumpon.

Kemudian untuk tujuan ketiga diselesaikan menggunakan algoritma *Single Image Edge Detection* (SIED) untuk mendeteksi fenomena *front*, dan jarak dari setiap titik data tangkapan ke *front* terdekat dihitung menggunakan analisis spasial ArcGIS 10.2. *Eddies* didapatkan dengan menganalisis kecepatan dan arah arus yang terjadi. Analisis data *front* menggunakan model statistik *Generalized Additive Model* (GAM), kemudian dilakukan *overlay* data *eddies* dan hasil tangkapan untuk melihat hubungan *eddies* terhadap klorofil-a. Analisis dilanjutkan dengan metode pusat gravitasi yang memanfaatkan daerah potensial keberadaan ikan cakalang untuk mendeteksi rata-rata pergerakan lokal ikan cakalang sepanjang tahun. Tujuan keempat diselesaikan menggunakan metode Box-Jenkins dengan menggunakan Model SARIMA. Penentuan daerah potensial dan estimasi sebaran ikan cakalang menggunakan memanfaatkan metode *Pelagic Habitat Index* (PHI) yang digabungkan dengan regresi berganda.

Hasil yang didapatkan pada tujuan pertama (Bab II) data satelit dan observasi memiliki nilai koefisien yang tinggi. Untuk variabel suhu permukaan laut didapatkan nilai koefisien korelasi $r = 0,77$ dan $p\text{-value} < 2,2 \times 10^{-16}$ dari total data (n) = 281, sedangkan untuk salinitas mendapatkan nilai koefisien korelasi $r = 0,71$ dan $p\text{-value} < 2,2 \times 10^{-16}$ dari total data (n) = 309. Variasi nilai rata-rata parameter oseanografi setiap perairan memperlihatkan karakteristik yang berbeda. Perbedaan ini diduga sangat berkaitan dengan jenis perairan, jarak dari garis equator, dan musim yang terjadi di Indonesia khususnya yang mempengaruhi langsung WPP-NRI 713.

Penelitian tahap kedua (Bab III) menunjukkan secara umum ikan cakalang banyak tertangkap pada rentang suhu $29,25^{\circ}\text{C}$ - $30,75^{\circ}\text{C}$ sedangkan untuk klorofil-a $0,15 \text{ mg m}^{-3}$ - $0,28 \text{ mg m}^{-3}$ dan produktivitas primer dengan rentang 350 - $560 \text{ mg C m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$. Berdasarkan pengamatan histologi terlihat jika ikan cakalang dikatakan dewasa pada

ukuran panjang cagak 50 cm. Ikan cakalang dewasa diidentifikasi suhu permukaan laut optimum rata-rata pada 29,75°C, dengan konsentrasi klorofil-a sebesar 0,2 mg m⁻³ dan juga didukung oleh produktivitas primer dengan nilai rata-rata 350 mg C m⁻² hari⁻¹. Berdasarkan penggunaan alat bantu penangkapan ikan, penggunaan rumpon terlihat tidak lebih baik dari segi ukuran dari penangkapan tanpa rumpon dengan rata-rata panjang cagak ikan cakalang 55,3 (SD ± 9,4 cm), yang termasuk ikan dewasa.

Penelitian tahap ketiga (Bab IV) menunjukkan bahwa *thermal front* dan *chlorophyll-a front* dapat dideteksi setiap bulannya. Jarak optimum antara *thermal front* dan sebaran tangkapan berkisar 0 – 50 km dengan tangkapan tertinggi pada jarak 0 – 10 km. Sedangkan jarak antara *chlorophyll-a front* dengan sebaran hasil tangkapan berkisar 0 - 50 km dengan tangkapan pada jarak 10 - 20 km. Peristiwa *eddies* diidentifikasi memiliki hubungan yang cukup kuat terhadap konsentrasi klorofil-a 0,2 mg m⁻³. Konsentrasi 0,2 mg m⁻³ biasanya digunakan sebagai indikator daerah potensial ikan cakalang di perairan. Berdasarkan referensi daerah potensial ikan cakalang, metode pusat gravitasi memperlihatkan perpindahan ikan cakalang di perairan Selat Makassar berawal dari selatan Selat Makassar (Januari) hingga ke utara Selat Makassar (Agustus) dan kembali ke selatan Selat Makassar (Oktober). Pola yang sama juga terjadi pada perairan Teluk Bone-Laut Flores.

Penelitian tahap keempat (Bab V) memperlihatkan bahwa model SARIMA dapat meramalkan suhu permukaan laut dan klorofil-a baik secara temporal maupun spasial dengan baik. Perairan Selat Makassar dapat diramalkan menggunakan model SARIMA (1.0.0)(1.0.0)12 dan SARIMA(1.0.0)(0.1.1)12 untuk meramalkan suhu dan klorofil-a. Pada perairan Teluk Bone-Laut Flores model terbaik yang didapatkan yaitu SARIMA (1.0.0)(1.0.1)12 yang dapat digunakan untuk meramalkan suhu permukaan laut dan klorofil-a. Daerah potensial penangkapan ikan yang didapatkan menggunakan PHI dengan kriteria >75% terlihat sesuai dengan sebaran data tangkapan bulan Agustus-Oktober 2020. Estimasi sebaran ikan cakalang memiliki hubungan yang kuat antara prediksi dan data aktual dengan nilai p<0,01, nilai r² = 0,616. Secara garis besar data oseanografi yang dihasilkan dari metode peramalan SARIMA dapat menggambarkan daerah penangkapan dan bahkan mengestimasi sebaran ikan di perairan dengan sangat baik, meskipun dalam durasi 1 tahun.

Sebagai kesimpulan, penelitian ini menunjukkan bahwa setiap perairan di WPP-NRI 713 memiliki karakteristik parameter oseanografi yang berbeda. Ikan cakalang dewasa memiliki rentang suhu yang lebih hangat dibandingkan ikan muda. Kemudian penangkapan ikan tanpa menggunakan alat bantu rumpon terlihat memiliki potensi keberlanjutan yang lebih baik dilihat dari ukuran ikan yang tertangkap. Selain itu fenomena front dapat menjadi acuan penentuan daerah potensial terutama pada daerah yang memiliki nilai klorofil-a 0,2 mg m⁻³ yang juga berkaitan erat dengan daerah terjadinya *eddies*. Pola pergerakan ikan cakalang pada awal tahun terlihat berada di perairan bagian selatan kemudian menuju ke bagian utara perairan pada bulan Agustus dan kembali menuju perairan selatan pada Oktober. Dua variabel suhu permukaan laut dan klorofil-a dapat diramalkan secara spasial menggunakan Model SARIMA. Estimasi sebaran ikan cakalang menggunakan data ramalan menghasilkan nilai korelasi yang tinggi dengan data tangkapan aktual pada tahun 2020. Pengembangan model peramalan parameter oseanografi dapat menjadi dasar dalam membuat peta prediksi yang lebih akurat dan dapat digunakan lebih maksimal oleh pemangku kepentingan.

SUMMARY

Rachmat Hidayat. L013181005. "Habitat Prediction and Movement Pattern of Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) in Indonesia Fisheries Management Area 713 Based on Satellite Oceanographic Data" supervised by Mukti Zainuddin as promotor, Achmar Mallawa, and Muzzneena Ahmad Mustapha as co-promotor.

Skipjack tuna is a fish species with high economic value with a wide distribution globally. The use of forecasting methods in predicting the best fishing ground will significantly support the increase in skipjack tuna production. Skipjack fishing grounds have a very close relationship with oceanographic parameters. The purposes of this study are, first (Chapter II) to analyze the oceanographic characteristics in each water of WPP-NRI 713, second (Chapter III) to examine the differences in habitat characteristics of adult and immature skipjack tuna, third (Chapter IV) to analyze the effect of front and eddies phenomena on the distribution and movement patterns of skipjack tuna in IFMA 713, and the fourth (Chapter V) develops a spatial model for forecasting the potential fishing ground of skipjack tuna.

The first objective was completed using correlation tests between satellite data and sea surface temperature and salinity observations to validate both data. In addition, the assessment also uses the average value distribution of each parameter in each water in WPP-NRI 713, then proceeds to look at the variation of the average value anomaly to determine the model or seasonal pattern of each variable in each water. The second objective was solved using the Generalized Additive Model (GAM) and Empirical Cumulative Distribution Function (ECDF) analysis methods to see the effect of environmental parameters on the catch. Furthermore, reference organoleptic observations were used to determine the adult limit of the fish and continued with the analysis of the Pelagic Habitat Index (PHI) to show the habitat characteristics of adult and immature skipjack tuna. Furthermore, a T-test was carried out to see differences in the habitat characteristics of fish caught using FADs and without FADs.

Then, the third objective is solved using the Single Image Edge Detection (SIED) algorithm to detect the front phenomenon. The distance from each capture data point to the nearest front is calculated in ArcGIS 10.2. In comparison, eddies are obtained by analyzing the current's speed and direction. Front data analysis used the Generalized Additive Model (GAM) statistical model, then overlay data on eddies and catches to see the relationship between eddies and chlorophyll-a. The analysis was continued by the centre of gravity method, which utilizes the potential area of skipjack tuna to detect the average local movement of skipjack tuna throughout the year. While the fourth objective was completed using the Box-Jenkins method using the SARIMA model. Meanwhile, to determine potential areas and estimate the distribution of skipjack tuna using the Pelagic Habitat Index (PHI) method combined with multi-regression.

The results obtained in the first destination (Chapter II) of satellite data and observations have a high coefficient value. For the sea surface temperature variable, the correlation coefficient value $r = 0.77$ and $p\text{-value} < 2.2 \times 10^{-16}$ from the total data ($n = 281$), while for salinity the correlation coefficient value $r = 0.71$ and $p\text{-value} < 2.2 \times 10^{-16}$ of the total data ($n = 309$). Variations in the average value of oceanographic parameters of each water show different characteristics. This difference is closely related to the type of waters, the distance from the equator, and the seasons in Indonesia, especially those that directly affect IFMA 713.

The second stage of the study (Chapter III) showed that skipjack tuna was generally caught in the sea surface temperature range of $29.25^{\circ}\text{C} - 30.75^{\circ}\text{C}$ while for chlorophyll-a $0.15 \text{ mg m}^{-3} - 0.28 \text{ mg m}^{-3}$ and productivity primer with a range of $350 - 560 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. From histological observations, it can be seen that skipjack tuna is said to be mature at a fork length same or more than 50 cm. Mature skipjack tuna were identified with an average optimum temperature of 29.75°C , a chlorophyll-a concentration of 0.2 mg m^{-3} , and primary productivity with an average value of $350 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. Meanwhile, in

terms of fishing aids, the use of FADs does not appear to be better in terms of size than fishing without FADs with an average fork length of skipjack tuna of 55.3 (SD \pm 9.4), which includes mature size.

Meanwhile, the third research phase (Chapter IV) shows that the thermal and chlorophyll-a fronts can be detected every month. The optimum distance between the thermal front and the skipjack tuna catch distribution ranges from 0-50 km, with the highest catch at a distance of 0-10 km. At the same time, the distance between the chlorophyll-a front and the distribution of skipjack tuna catch ranged from 0-50 km, with the highest catch at a distance of 10-20 km. The Eddies event was identified as having a reasonably strong relationship with the chlorophyll-a concentration of 0.2 mg m⁻³. The concentration of 0.2 mg m⁻³ is usually used to determine the potential area of skipjack tuna in the waters. Using a reference to potential skipjack tuna areas, the centre of gravity method shows the movement of skipjack tuna in Makassar Strait waters starting from the South Makassar Strait (January) to the Northside Makassar Strait (August) and back to the South Makassar Strait (October). The same pattern also occurs in the waters of the Bone Gulf-Flores Sea.

The fourth stage of the research (Chapter V) shows that the SARIMA model can predict sea surface temperature and chlorophyll-a both temporally and spatially well. Makassar Strait waters can be predicted using the SARIMA (1.0.0)(1.0.0)12 and SARIMA(1.0.0)(0.1.1)12 models to predict temperature and chlorophyll-a. In the waters of Bone Sea-Flores Bay, the best model obtained is SARIMA (1.0.0)(1.0.1)12, which can be used to predict sea surface temperature and chlorophyll-a. Potential fishing areas obtained using PHI with criteria >75% appear to be following the distribution of catch data for August-October 2020. The estimated distribution of skipjack tuna has a strong relationship between predictions and actual data with p-value <0.01, r² value = 0.616. Oceanographic data generated from the SARIMA forecasting method can describe fishing areas and even estimate the distribution of fish in the waters very well, even though it has a duration of 1 year.

In conclusion, this study shows that each water in IFMA 713 has different characteristics of oceanographic parameters. Adult skipjack tuna has a warmer temperature range than young fish. Then fishing without using FADs seems to have better sustainability potential in terms of the size of the catch. In addition, the front phenomenon can be used as a reference for determining potential areas, especially in areas with a chlorophyll-a value of 0.2 mg m⁻³, which is also closely related to the area where eddies occur. At the beginning of the year, the movement pattern of skipjack tuna was seen in the southern waters, then headed to the northern waters in August and returned to the southern waters in October. Two variables of sea surface temperature and chlorophyll-a can be predicted spatially using the SARIMA Model. Estimating the distribution of skipjack tuna using forecast data produces a high correlation value with the actual catch data in 2020. The development of oceanographic parameter forecasting models can make prediction maps that are more accurate and can be used more optimally by stakeholders.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN DISERTASI	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEPEMILIKAN TULISAN	v
KATA PENGANTAR	vi
RINGKASAN	ix
SUMMARY	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
I. PENDAHULUAN UMUM	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	8
C. Tujuan Penelitian.....	9
D. Kerangka Konsep Penelitian.....	9
E. Hipotesis.....	10
F. Kebaharuan (<i>Novelty</i>).....	11
II. KARAKTERISTIK PERAIRAN DI WPP-NRI 713 (SELAT MAKASSAR, TELUK BONE-LAUT FLORES)	12
Abstrak.....	12
<i>Abstract</i>	12
A. Pendahuluan.....	13
B. Metodologi.....	14
1. Batasan daerah penelitian.....	14
2. Data satelit.....	14
3. <i>Processing data</i>	15
C. Hasil.....	16
1. Korelasi data satelit dan observasi.....	16
2. Karakteristik oseanografi setiap perairan di WPP-NRI 713.....	17
3. Variasi seasonal oseanografi temporal.....	32
D. Pembahasan.....	35
E. Kesimpulan.....	37

III. KARAKTERISTIK HABITAT IKAN CAKALANG DI WILAYAH PENGELOLAAN PERIKANAN NEGARA REPUBLIK INDONESIA (WPP-NRI) 713.....	38
Abstrak	38
<i>Abstract</i>	38
A. Pendahuluan	39
B. Metodologi	40
1. Batasan daerah penelitian.....	40
2. Data	41
3. Metode penelitian	42
C. Hasil.....	45
1. Hubungan parameter oseanografi dengan hasil tangkapan cakalang	45
2. Pengamatan histologi.....	48
3. Karakteristik habitat ikan cakalang berdasarkan ukuran ikan layak tangkapan dan belum layak tangkap	50
4. Karakteristik habitat ikan cakalang berdasarkan metode penangkapan Ikan	53
D. Pembahasan	56
E. Kesimpulan.....	58
IV. HUBUNGAN DINAMIKA <i>EDDY</i> DAN PERISTIWA <i>FRONT</i> TERHADAP DISTRIBUSI DAN POLA PERGERAKAN IKAN CAKALANG DI WPP-NRI 713 ...	59
Abstrak	59
<i>Abstract</i>	59
A. Pendahuluan	60
B. Metodologi	61
1. Lokasi dan data penelitian.....	61
3. Distribusi spasial fenomena <i>eddy</i>	63
4. Hubungan fenomena <i>front</i> dan <i>eddy</i> terhadap daerah penangkapan ikan cakalang.....	64
C. Hasil.....	65
1. Sebaran suhu permukaan laut dan klorofil-a	65
2. Sebaran <i>thermal front</i> dan <i>chlorophyll-a front</i> hubungannya dengan sebaran penangkapan ikan cakalang.....	68
3. Spasial-temporal fenomena <i>eddies</i>	77
4. Hubungan distribusi temporal <i>eddies</i> bulanan dengan klorofil-a	80
5. Pola pergerakan ikan cakalang.....	81
D. Pembahasan	83
E. Kesimpulan.....	85

	Halaman
V. PERAMALAN ZONA POTENSIAL IKAN CAKALANG (<i>katsuwonus pelamis</i>) DI WPP-NRI 713 BERBASIS DATA <i>TIME SERIES</i>	86
Abstrak	86
<i>Abstract</i>	86
A. Pendahuluan	87
B. Metodologi	88
1. Lokasi dan data penelitian	88
2. Batasan data penelitian	89
3. Model peramalan <i>time series Box-Jenkins</i>	91
4. Prediksi daerah penangkapan ikan menggunakan analisis regresi	94
C. Hasil	94
1. Variasi data oseanografi	94
2. Pemilihan model <i>Box-Jenkins</i>	98
3. Diagnosa model terbaik	108
4. Peramalan parameter suhu permukaan laut dan klorofil-a menggunakan model <i>Box-Jenkins</i>	111
5. Penerapan analisis regresi berganda dalam prediksi daerah penangkapan ikan cakalang	124
D. Pembahasan	133
E. Kesimpulan	136
VI. PEMBAHASAN, KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	137
A. Pembahasan umum	137
B. Kesimpulan umum	140
C. Rekomendasi	141
DAFTAR PUSTAKA	142

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1	Nilai lambda dan transformasi.....	8
2	Data tangkapan cakalang tahun 2015 – 2019 berdasarkan metode penangkapan yang digunakan.....	41
3	Hasil analisis GAM menggunakan empat parameter prediktor suhu permukaan laut (SST), klorofil-a(CHL), produktivitas primer (NPP) dan kedalaman perairan (DPT)	47
4	Variasi parameter oseanografi.....	53
5	Hasil uji t (rumpon dan non-rumpon) <i>two-sample assuming unequal variances</i>	53
6	Nilai CPUE penangkapan ikan dengan menggunakan FADs dan non-rumpon.....	55
7	Hasil GAM untuk hubungan jarak <i>thermal front</i> terhadap hasil tangkapan....	75
8	Hasil GAM untuk hubungan jarak <i>chlorophyll-a front</i> terhadap hasil tangkapan.....	75
9	Estimasi koefisien tipe SARIMA (0.0.1)(0.0.1) ₁₂ untuk suhu permukaan laut di Selat Makassar.	99
10	Estimasi koefisien model SARIMA (1.0.0)(1.0.0) ₁₂ untuk suhu permukaan laut di Selat Makassar.....	100
11	Estimasi koefisien model SARIMA (0.0.1)(1.0.1) ₁₂ untuk suhu permukaan laut di Teluk Bone-Laut Flores.....	102
12	Estimasi koefisien tipe SARIMA (1.0.0)(1.0.1) ₁₂ untuk suhu permukaan laut di Teluk Bone-Laut Flores.....	103
13	Estimasi koefisien tipe SARIMA (1.0.0)(0.1.1) ₁₂ untuk klorofil-a di Selat Makassar.....	104
14	Estimasi koefisien tipe SARIMA (1.0.0)(2.0.0) ₁₂ untuk klorofil-a di Selat Makassar.....	105
15	Estimasi koefisien tipe SARIMA (1.0.0)(1.0.1) ₁₂ untuk klorofil-a di Teluk Bone-Laut Flores.....	107
16	Estimasi koefisien tipe SARIMA (1.0.0)(0.0.2) ₁₂ untuk klorofil-a di Teluk Bone-Laut Flores.....	108
17	Estimasi nilai <i>white noise</i> setiap <i>lag</i> model SARIMA untuk suhu permukaan laut di Selat Makassar.....	109
18	Estimasi nilai <i>white noise</i> setiap <i>lag</i> model SARIMA untuk klorofil-a di Selat Makassar.....	110
19	Estimasi nilai <i>white noise</i> setiap <i>lag</i> model SARIMA untuk suhu permukaan laut di Teluk Bone-Laut Flores.....	110
20	Estimasi nilai <i>white noise</i> setiap <i>lag</i> model SARIMA untuk klorofil-a di Teluk Bone-Laut Flores.....	111

Nomor	Halaman
21	112
Prediksi ramalan suhu permukaan laut model SARIMA (1.0.0)(1.0.0)12 di Selat Makassar pada tahun 2020.....	
22	115
Prediksi ramalan klorofil-a model SARIMA (1.0.0)(0.1.1)12 di Selat Makassar pada tahun 2020.....	
23	118
Prediksi ramalan suhu permukaan laut model SARIMA (1.0.0)(1.0.1)12 di Teluk Bone-Laut Flores tahun 2020.....	
24	122
Prediksi ramalan klorofil-a model SARIMA (1.0.0)(1.0.1)12 di Selat Makassar pada tahun 2020.....	
25	125
Koefisien uji regresi berganda suhu permukaan laut dan klorofil-a terhadap tangkapan ikan cakalang.....	
26	127
Uji normalitas <i>Kolmogorov-Smirnov test</i> pada nilai residual model regresi berganda.	

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1	Variasi tangkapan tuna tropis di Samudra Hindia selama priode 1950-2018, (A) tuna ekor kuning (kuning), mata besar (merah), dan cakalang (biru), dan (B) presentasi usaha penangkapan pertahun <i>handline</i> , <i>gillnet</i> dan <i>pole and line</i> (abu-abu muda), dan industri perikanan (hitam). (sumber = https://www.iotc.org/data/datasets/latest/NC).	1
2	<i>Value</i> dan nilai produksi ikan cakalang (Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat, dan Sulawesi Tenggara) tahun 2017 – 2020 (https://statistik.kkp.go.id/ = akses 2 September 2021)	2
3	Kontribusi produksi hasil tangkapan ikan menurut WPP-NRI pada tahun 2014.	3
4	Pola data deret waktu/ <i>time series</i> (sumber: https://softscients.com/).....	7
5	Kerangka konsep penelitian.....	10
6	Daerah penelitian WPP-NRI 713 (Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores)	14
7	Hasil korelasi data observasi dengan data in-situ suhu permukaan laut (a) dan salinitas permukaan laut (b)	17
8	Rata-rata sebaran horizontal suhu permukaan laut di WPP-NRI 713 tahun 2010 - 2019.....	18
9	Rata-rata pola sebaran suhu permukaan laut di Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores 2010 – 2019.....	19
10	Rata-rata sebaran horizontal klorofil-a di WPP-NRI 713 tahun 2010 - 2019..	20
11	Rata-rata pola sebaran klorofil-a di Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores 2010 – 2019.....	21
12	Rata-rata sebaran horizontal produktivitas primer di WPP-NRI 713 tahun 2010 - 2019.....	22
13	Rata-rata pola sebaran produktivitas primer di Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores 2010 - 2019.....	23
14	Rata-rata sebaran horizontal salinitas di WPP-NRI 713 tahun 2016 - 2019...	24
15	Rata-rata pola sebaran salinitas di Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores 2010 - 2019.....	25
16	Rata–rata pergerakan arus pada bulan April – September di Selat Makassar. Garis imajiner hitam merupakan arah arus dari utara Selat Makassar, sedangkan merah merupakan arah arus yang berada di selatan Selat Makassar.....	27
17	Rata–rata pergerakan arus pada bulan Oktober – Maret di Selat Makassar. Garis imajiner hitam merupakan arah arus dari utara Selat Makassar, sedangkan merah merupakan arah arus yang berada di selatan Selat Makassar.....	28

Nomor		Halaman
18	Rata-rata pergerakan arus pada bulan April – September di Teluk Bone. Garis imajiner hitam merupakan arah arus yang berasal dari Teluk Bone, sedangkan merah merupakan arah arus yang berasal dari Laut Flores dan perairan di selatan Teluk Bone.....	29
19	Rata-rata pergerakan arus pada bulan Oktober – Maret di Teluk Bone.....	30
20	Rata-rata pergerakan arus pada bulan April – September di Laut Flores. Garis imajiner hitam merupakan arah arus yang berasal dari Teluk Bone ataupun Selat Makassar, sedangkan merah merupakan arah arus yang berasal dari Laut Bali dan Laut Banda.....	31
21	Rata-rata pergerakan arus pada bulan Oktober – Maret di Laut Flores. Garis imajiner hitam merupakan arah arus yang berasal dari Teluk Bone, sedangkan merah merupakan arah arus yang berasal dari Laut Bali dan Laut Banda.	32
22	Variasi musiman suhu permukaan laut berdasarkan anomali di wilayah Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores selama 10 tahun (2010 – 2019).	33
23	Variasi musiman klorofil-a berdasarkan anomali di setiap wilayah (Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores)	34
24	Variasi musiman produktivitas primer berdasarkan anomali di setiap wilayah (Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores)	34
25	Variasi musiman klorofil-a berdasarkan anomali di setiap wilayah (Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores)	35
26	Peta daerah penelitian (WPP-NRI 713)	41
27	Hasil analisis ECDF antara hasil tangkapan ikan cakalang dengan parameter oseanografi (suhu permukaan laut, klorofil-a, produktivitas primer, dan kedalaman perairan)	45
28	Hasil <i>plotting</i> analisis GAM menggunakan empat parameter (suhu, klorofil produktivitas primer, dan kedalaman)	46
29	Hasil pengamatan histologi gonad ikan cakalang <i>betina (a-c) dan jantan (d-f) untuk</i> ukuran <50 cm (immature) (Fajrianti, 2019)	49
30	Hasil pengamatan histologi gonad ikan cakalang <i>betina (a-b) dan jantan (c-d) untuk</i> ukuran ≥50 cm (mature) (Fajrianti, 2019)	49
31	Persentase total hasil tangkapan (n = 45.225) berdasarkan panjang cagak ikan cakalang.....	50
32	Histogram hubungan total hasil tangkapan dan usaha penangkapan (<i>purse seine</i> dan <i>pole and line</i>) ikan cakalang ukuran di bawah FL 50 cm (belum dewasa) dengan parameter lingkungan.....	51
33	Histogram hubungan total hasil tangkapan dan usaha penangkapan ikan cakalang (<i>purse seine</i> dan <i>pole and line</i>) ukuran di atas FL 50 cm (dewasa) dengan parameter lingkungan.....	51
34	Area PHI untuk <i>mature, immature</i> , dan persinggungan <i>mature</i> dan <i>immature</i> berdasarkan karakteristik oseanografi ikan cakalang.....	52

Nomor		Halaman
35	Grafik sebaran parameter oseanografi terkait total tangkapan dan usaha penangkapan ikan cakalang. Baris (a-d) frekuensi kemunculan ikan hubungannya terhadap parameter oseanografi. Baris (e-h) upaya penangkapan, dan baris (i-l) total tangkapan ikan cakalang.....	54
36	<i>Box plot</i> panjang cagak ikan cakalang dengan metode penangkapan (rumpon dan non-rumpon). Kotak menunjukkan rentang <i>interquartile</i> , garis luar kotak menunjukkan interval kepercayaan 95%, titik-titik adalah pencilan	55
37	FL rata-rata ikan cakalang yang tertangkap menggunakan rumpon dan tanpa rumpon (2015 – 2019). Garis merah merupakan rata-rata ukuran matang gonad minimum yaitu panjang cagak 50 cm.....	56
38	Lokasi penelitian.....	62
39	Distribusi spasial suhu permukaan laut rata-rata Januari – Desember (2015 – 2019)	66
40	Distribusi suhu permukaan laut berdasarkan total hasil tangkapan (a) dan berdasarkan usaha penangkapan (b)	66
41	Distribusi spasial klorofil-a rata-rata pada bulan Januari – Desember (2015 – 2019)	67
42	Distribusi suhu berdasarkan total hasil tangkapan (a) dan berdasarkan usaha penangkapan (b)	68
43	Rata-rata sebaran <i>thermal front</i> setiap bulan (Januari – Desember).....	69
44	Hubungan <i>thermal front</i> terhadap sebaran penangkapan ikan cakalang di Selat Makassar pada bulan Mei – Juli 2017	70
45	Persentase jarak titik tangkapan dengan daerah terjadinya <i>thermal front</i>	70
46	Rata-rata sebaran <i>chlorophyll-a front</i> pada bulan Januari sampai Desember	71
47	Hubungan <i>chlorophyll-a front</i> terhadap sebaran penangkapan ikan cakalang di Selat Makassar pada bulan Mei – Juli 2017.....	72
48	Persentase jarak titik tangkapan dengan daerah terjadinya <i>chlorophyll-a front</i> di Selat Makassar.....	72
49	Hubungan <i>chlorophyll-a front</i> terhadap sebaran penangkapan ikan cakalang di Teluk Bone pada bulan April – September 2017.....	73
50	Persentase jarak titik tangkapan dengan daerah terjadinya <i>chlorophyll-a front</i> di Teluk Bone.....	74
51	Hubungan jarak <i>thermal front</i> terhadap hasil tangkapan.....	75
52	Hubungan jarak <i>chlorophyll-a front</i> terhadap hasil tangkapan.....	76
53	Hubungan <i>chlorophyll-a front</i> terhadap daerah potensial penangkapan ikan.	77
54	Distribusi temporal <i>eddies</i> ((<i>cyclonic</i> (merah) dan <i>anti-cyclonic</i> (biru)) hari pertama hingga hari ke-20 bulan Mei 2017.....	78
55	Distribusi temporal <i>eddies</i> ((<i>cyclonic</i> (merah) dan <i>anti-cyclonic</i> (biru)) hari ke-21 hingga hari ke-30 bulan Mei 2017.....	79

Nomor		Halaman
56	Distribusi temporal <i>eddies</i> ((<i>cyclonic</i> (merah) dan <i>anti-cyclonic</i> (biru)) menggunakan <i>dataset</i> bulanan Mei - Juli 2017.....	79
57	Distribusi temporal <i>eddies</i> (<i>cyclonic</i> dan <i>anti-cyclonic</i>) menggunakan <i>dataset</i> bulanan hubungannya dengan klorofil-a bulan Mei - Juli 2017.....	80
58	Distribusi klorofil-a data tangkapan ikan cakalang bulan Mei – Juni 2017.....	81
59	Rata–rata pola pergerakan ikan cakalang di perairan Teluk Bone-Laut Flores pada bulan Januari – Desember.....	82
60	Rata–rata pola pergerakan ikan cakalang di perairan Selat Makassar bulan Januari – Desember.....	82
61	Lokasi penelitian.....	88
62	Pembagian daerah peramalan parameter oseanografi. (a) Selat Makassar dan (b) Teluk Bone dan Laut Flores.....	90
63	Skema pendekatan <i>Box-Jenkins</i>	91
64	Variasi rata–rata suhu permukaan laut di Selat Makassar dari bulan Januari 2010 sampai Desember 2019.....	95
65	Variasi rata–rata suhu permukaan laut di Teluk Bone-Laut Flores dari Januari 2010 sampai Desember 2019.....	96
66	Rata–rata variasi klorofil-a di Selat Makassar dari Januari 2010 sampai Desember 2019.....	97
67	Rata–rata variasi suhu permukaan laut di Teluk Bone-Laut Flores dari Januari 2010 sampai Desember 2019.....	97
68	Grafik (a) hasil uji <i>autocorrelation function</i> (ACF) dan (b) <i>partial autocorrelation function</i> (PACF) untuk data suhu permukaan laut di Selat Makassar.....	99
69	Q-Q <i>plot</i> normalitas dan histogram sebaran residual respon dari suhu permukaan laut di Selat Makassar untuk model SARIMA (0.0.1)(0.0.1)12....	100
70	Grafik normalitas dan histogram sebaran residual respon dari suhu permukaan laut di Selat Makassar untuk model SARIMA (1.0.0)(1.0.0)12....	101
71	Grafik (a) hasil uji <i>autocorrelation function</i> (ACF) dan (b) <i>partial autocorrelation function</i> (PACF) untuk data suhu permukaan laut di Teluk Bone-Laut Flores.....	101
72	Grafik uji normalitas dan histogram sebaran residual respon dari suhu permukaan laut di Teluk Bone-Laut Flores untuk model SARIMA (0.0.1)(1.0.1)12.....	102
73	Grafik uji normalitas dan histogram sebaran residual respon dari suhu permukaan laut di Teluk Bone-Laut Flores untuk model SARIMA (1.0.0)(1.0.1)12.....	103
74	Grafik (a) hasil uji <i>autocorrelation function</i> (ACF) dan (b) <i>partial autocorrelation function</i> (PACF) untuk data klorofil-a di Selat Makassar.....	104

Nomor		Halaman
75	Grafik uji normalitas dan histogram sebaran residual respon dari klorofil-a di Selat Makassar untuk model SARIMA (1.0.0)(0.1.1) ₁₂	105
76	Grafik uji normalitas dan histogram sebaran residual respon dari klorofil-a di Selat Makassar untuk model SARIMA (1.0.0)(2.0.0) ₁₂	106
77	Grafik (a) hasil uji <i>autocorrelation function</i> (ACF) dan (b) <i>partial autocorrelation function</i> (PACF) untuk data Klorofil-a di Teluk Bone-Laut Flores.....	106
78	Grafik uji normalitas dan histogram sebaran residual respon dari klorofil-a di di Teluk Bone-Laut Flores untuk model SARIMA (1.0.0)(1.0.1) ₁₂	107
79	Grafik uji normalitas dan histogram sebaran residual respon dari klorofil-a di Teluk Bone-Laut Flores untuk model SARIMA (1.0.0)(0.0.2) ₁₂	108
80	<i>Plot</i> data rata-rata suhu permukaan ramalan dan data aktual satelit oseanografi di Selat Makassar Januari sampai Desember 2020.....	112
81	Bentuk spasial peramalan model SARIMA (1.0.0)(1.0.0) ₁₂ di Selat Makassar dibandingkan dengan data aktual suhu permukaan laut pada bulan Januari sampai Juni 2020.....	113
82	Bentuk spacial peramalan model SARIMA (1.0.0)(1.0.0) ₁₂ di Selat Makassar dibandingkan dengan data aktual suhu permukaan laut pada bulan Juli sampai Desember 2020.....	114
83	<i>Plot</i> data rata-rata suhu permukaan ramalan dan data aktual satelit oseanografi di Selat Makassar Januari sampai Desember 2020.....	116
84	Bentuk spasial peramalan model SARIMA (1.0.0)(0.1.1) ₁₂ di Selat Makassar dibandingkan dengan data aktual klorofil-a pada bulan Januari sampai Juni 2020.....	116
85	Bentuk spasial peramalan model SARIMA (1.0.0)(0.1.1) ₁₂ di Selat Makassar dibandingkan dengan data aktual klorofil-a pada bulan Juli sampai Desember 2020.....	117
86	<i>Plot</i> data rata-rata suhu permukaan laut ramalan dan data aktual satelit oseanografi di Teluk Bone-Laut Flores pada Januari sampai Desember 2020.....	119
87	Bentuk spasial peramalan model SARIMA (1.0.0)(1.0.1) ₁₂ di Teluk Bone-Laut Flores dibandingkan dengan data aktual suhu permukaan laut pada bulan Januari sampai Juni 2020.....	120
88	Bentuk spasial peramalan model SARIMA (1.0.0)(1.0.1) ₁₂ di Teluk Bone-Laut Flores dibandingkan dengan data aktual suhu permukaan laut pada bulan Januari sampai Juni 2020.....	121
89	<i>Plot</i> data rata-rata klorofil-a ramalan dan data aktual satelit oseanografi di Teluk Bone-Laut Flores pada bulan Januari sampai Desember 2020.....	122
90	<i>Plot</i> data rata-rata klorofil-a ramalan dan data aktual satelit oseanografi di Teluk Bone-Laut Flores pada bulan Januari sampai Jun 2020.	123
91	<i>Plot</i> data rata-rata klorofil-a ramalan dan data aktual satelit oseanografi di Teluk Bone-Laut Flores pada bulan Juni sampai Desember 2020.....	124

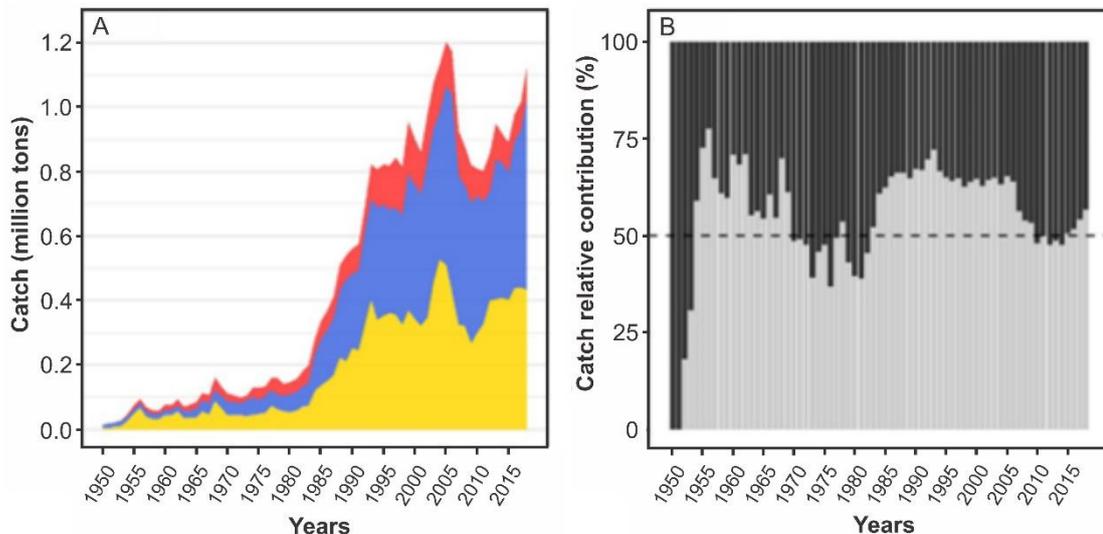
Nomor		Halaman
92	Normal Q-Q <i>plot</i> dari setiap variabel uji regresi, (a) suhu permukaan laut, (b) klorofil-a, (c) hasil tangkapan ikan cakalang, dan (d) logaritma natural (ln) dari hasil tangkapan ikan cakalang.....	125
93	Histogram nilai residual dari hasil uji regresi berganda dengan variabel terikat adalah hasil tangkapan ikan cakalang dan variabel bebas adalah suhu permukaan laut dan klorofil-a.....	126
94	Grafik normalitas sebaran nilai residual dari hasil uji regresi berganda.....	127
95	Skema pembuatan peta zona potensi penangkapan ikan cakalang menggunakan data ramalan.....	128
96	Peta estimasi sebaran ikan cakalang di perairan WPP-NRI 713 berdasarkan data ramalan suhu permukaan laut dan klorofil-a Januari sampai Desember 2020.....	129
97	Peta daerah potensial penangkapan ikan cakalang berdasarkan nilai habitat indeks menggunakan data ramalan suhu permukaan laut dan klorofil-a di WPP-NRI 713 tahun 2020.....	130
98	Peta prediksi zona potensi penangkapan ikan cakalang, poin hitam adalah data tangkapan ikan cakalang Agustus sampai Oktober 2020 di Selat Makassar.....	131
99	Peta prediksi zona potensi penangkapan ikan cakalang, poin hitam adalah data tangkapan ikan cakalang Agustus sampai Oktober 2020 di Teluk Bone-Laut Flores.....	132
100	Hubungan antara hasil tangkapan observasi dan estimasi sebaran ikan cakalang di WPP-NRI 713 bulan Agustus sampai Oktober 2020.....	132

I. PENDAHULUAN UMUM

A. Latar Belakang

1. Potensi, sebaran, dan produksi

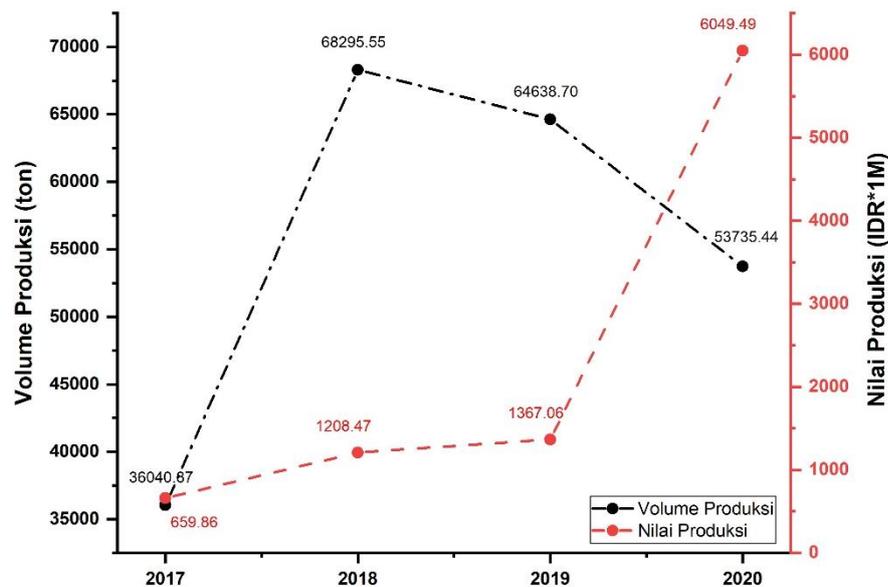
Tuna tropis merupakan spesies yang menjadi target utama dari industri perikanan di dunia. Tuna tropis menjadi penyumbang tertinggi sebanyak 53% dari total tangkapan di Samudra Hindia pada tahun 2018. Sebanyak 53% total produksi tuna tropis, ikan cakalang menyumbang produksi tertinggi sebanyak 53%, disusul tuna sirip kuning dan tuna mata besar masing–masing berjumlah 38% dan 9% (IOTC, 2019). Selain itu, operasi penangkapan tuna sejak 1980-an mengalami peningkatan yang cukup pesat, dengan total tangkapan yang meningkat sebesar 146.483 ton pada tahun 1980 menjadi 560.308 ton pada tahun 1990. Bahkan pada tahun 2000-an penangkapan ikan tuna tropis ini mencapai nilai tertinggi sebesar 1.204.041 ton pada tahun 2005.



Gambar 1. Variasi tangkapan tuna tropis di Samudra Hindia selama periode 1950-2018, (A) tuna ekor kuning (kuning), mata besar (merah), dan cakalang (biru), dan (B) presentasi usaha penangkapan pertahun *handline*, *gillnet* dan *pole and line* (abu-abu muda), dan industri perikanan (hitam). (sumber = <https://www.iotc.org/data/datasets/latest/NC>).

Peningkatan besar tangkapan tuna tropis didorong oleh peningkatan produksi negara seperti Taiwan, Uni Eropa, Maladewa, dan Indonesia pada tahun 1980-an yang sebelumnya didominasi oleh Jepang pada tahun 1960-an. Secara individu dalam beberapa dekade terakhir, ikan cakalang telah menjadi salah satu pendukung produksi global yaitu sebanyak 3 juta ton/tahun (FAO, 2016). Pada tahun 2018, total tangkapan tuna sebesar 5,1 juta ton yang didominasi tuna tropis sebanyak 95% (ISSF, 2020). Ikan cakalang adalah salah satu ikan pelagis yang bermigrasi dari wilayah subtropis hingga ke wilayah tropis pada seluruh samudra, meskipun sebagian besar tuna dan cakalang melakukan pemijahan di daerah tropis (Loukos *et al.*, 2003).

Kontribusi ikan cakalang di Samudra Hindia dalam rentang 2015 – 2019 mencapai setengah (49,7%) dari total tangkapan tuna tropis (IOTC, 2020). Produksi ikan cakalang di perairan Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPP-NRI) 713 juga cukup besar. Seperti yang ditunjukkan oleh data produksi perikanan cakalang di Provinsi Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat, dan Sulawesi Tenggara sebagai daerah yang memanfaatkan potensi WPP-NRI 713 (Gambar 2). Peningkatan jumlah produksi sangat pesat terlihat meningkat pada tahun 2017 – 2018, yaitu hingga dua kali lipat. Sebaliknya pada tahun 2018 – 2020 mengalami penurunan produksi meskipun tidak begitu signifikan. Selain jumlah produksi, peningkatan nilai produksi cakalang juga dapat menjadi rujukan yang cukup baik, dimana pada 2020 nilai produksi cakalang meningkat pesat sampai enam kali lipat dari tahun sebelumnya (Gambar 2).

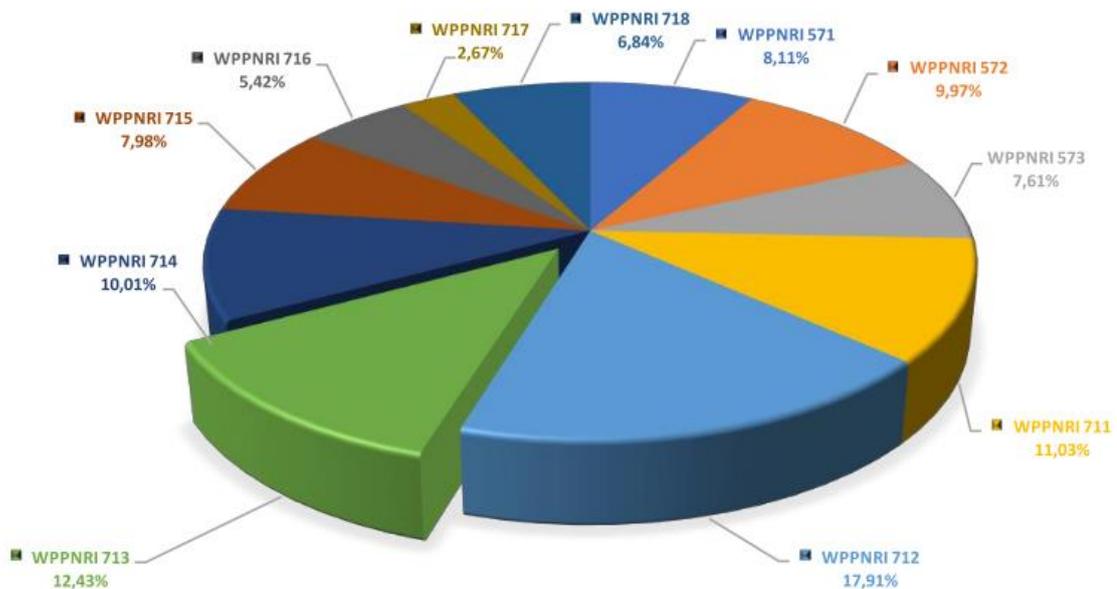


Gambar 2. Value dan nilai produksi ikan cakalang (Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat, dan Sulawesi Tenggara) tahun 2017 – 2020 (<https://statistik.kkp.go.id/> = akses 2 September 2021)

Ukuran ikan cakalang memijah berada pada panjang cagak (*fork length*, FL) > 56,1 cm pada betina dan > 60 cm pada jantan di Teluk Bone (Malik, 2014). Mallawa (2016) melaporkan bahwa ikan cakalang di perairan WPP-NRI 713 (Selat Makassar, Teluk Bone, Laut Flores, dan Laut Bali) mencapai ukuran dewasa pada panjang 55 cm FL pada betina dan 60 cm FL pada jantan. Data terbaru dilaporkan Fajrianti (2019) untuk perairan Teluk Bone dan Laut Flores > 50 cm FL. Secara umum, FAO menggolongkan tingkat dewasa ikan cakalang kira-kira berada pada ukuran 45 cm FL. Ikan cakalang adalah ikan pelagis yang bersifat *oceanodromous*, hidup di laut dengan kedalaman antara 0-260 m dan termasuk dalam *highly migratory species*. Selanjutnya, dinyatakan bahwa cakalang bersifat kosmopolitan pada perairan tropis dan *warm-temperate* dengan penyebaran 58°LU – 47°LS; 180°BB – 180°BT. Spesies cakalang secara terus menerus

ditemukan sepanjang tahun dari timur ke barat di seluruh samudra, dan mencakup wilayah antara 45°LU hingga sebelah selatan 45°LS di kawasan barat Samudra Pasifik dan antara 30°LU – 30°LS di kawasan timur Samudra Pasifik. Di Samudra Atlantik, cakalang telah tertangkap di antara 45°LU – 45°LS di kawasan barat dan di antara 35°LU hingga sebelah selatan 40°LS di kawasan timur (Matsumoto *et al.*, 1984).

Indonesia memiliki batasan atau pembagian wilayah pengelolaan sebanyak 11 Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP), dan WPP-NRI 713 merupakan salah satu yang memiliki potensi yang patut diperhitungkan. Kontribusi perikanan tangkap WPP-NRI 713 pada tahun 2014 tercatat mencapai 12,43% dari total produksi nasional yang mencapai 6.037.654 ton.



Gambar 3. Kontribusi produksi hasil tangkapan ikan menurut WPP-NRI pada tahun 2014 (PDSI-KKP, 2015).

Hasil tangkapan ikan cakalang telah memberikan kontribusi signifikan dalam peningkatan ekspor komoditi perikanan (PDSI-KKP, 2015). Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) merupakan sumber daya ikan pelagis besar yang banyak dieksploitasi oleh nelayan di WPP-NRI 713 dengan menggunakan alat tangkap huhate (*pole and line*), *purse seine*, dan pancing baik nelayan yang berasal dari Provinsi Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, maupun yang menangkap di Selat Makassar (Mallawa *et al.*, 2010, 2016). Perikanan cakalang di WPP-NRI 713 masih dalam kategori *moderate* atau bisa dikatakan masih memiliki sumber daya yang berlimpah (KKP, 2017).

Area WPP-NRI 713 terdiri atas beberapa perairan yang berbeda, meliputi perairan Selat Makassar, Teluk Bone, Laut Flores, dan Laut Bali. Kondisi karakteristik oseanografi dari perairan ini banyak dipengaruhi oleh perairan samudra di sekitarnya seperti Samudra Hindia dan Pasifik. Meskipun tidak bersinggungan langsung, beberapa

peristiwa oseanografi patut menjadi perhatian. Salah satu fenomena yang biasanya memengaruhi perairan WPP-NRI 713 yaitu ENSO (*El-Nino southern Oscillation*), dimana kejadian ini akan menyebabkan tiga kondisi yang sangat memengaruhi suhu permukaan laut yaitu kondisi normal, *El-Nino*, dan *La-Nina*.

2. Parameter oseanografi hubungannya terhadap perikanan

Sumber daya ikan dalam aktivitasnya sangatlah dinamis dan keadaan ini yang menyebabkan penyebaran sumberdaya ikan tidak merata di laut, baik secara vertikal maupun horizontal. Dinamisnya pergerakan ikan disebabkan oleh proses adaptasi ikan terhadap perubahan lingkungan perairan yang merupakan habitatnya (Simbolon, 2011). Beberapa parameter oseanografi terlihat memiliki dampak yang cukup besar terhadap sebaran ikan di perairan. Suhu permukaan laut merupakan salah satu parameter yang memiliki perhatian besar. Umumnya, suhu permukaan laut tidak memiliki korelasi yang nyata terhadap jumlah tangkapan di perairan, tetapi lebih kepada daerah potensial ikan cakalang (Andrade, 2003). Meskipun demikian, suhu permukaan laut merupakan variabel yang penting dimana suhu permukaan laut sangat memengaruhi pertumbuhan fitoplankton dan secara langsung memengaruhi kondisi fisiologis ikan. Selain suhu, parameter biofisik yang sangat memengaruhi distribusi ikan dan sering digunakan untuk memprediksi potensi penangkapan ikan adalah klorofil-a. Klorofil-a berkaitan erat dengan produktivitas yang ditunjukkan dengan besarnya biomassa fitoplankton yang menjadi rantai pertama makanan ikan pelagis. Kesuburan suatu perairan ditentukan dari kelimpahan zat organik yang menjadi makanan organisme laut (produktivitas primer). Produktivitas primer yang melimpah akan menarik perhatian ikan untuk datang mencari makan. Besarnya produktivitas primer perairan dapat diperkirakan dengan mengetahui konsentrasi klorofil-a di perairan tersebut. Kelimpahan produktivitas perairan dapat ditunjukkan oleh kandungan konsentrasi klorofil-a dan dapat dijadikan sebagai ukuran banyaknya fitoplankton di perairan (Nababan *et al.*, 2016)

Umumnya sebaran klorofil-a di perairan terlihat lebih tinggi pada perairan pantai sebagai akibat dari tingginya suplai nutrisi yang berasal dari daratan melalui muaramuara sungai. Tapi, pada kondisi tertentu di perairan yang jauh dari pantai juga memperlihatkan konsentrasi klorofil-a yang cukup tinggi. Hal ini diperkirakan karena adanya peristiwa *upwelling* di perairan (Atmadipoera & Widyastuti, 2015).

Sejumlah penelitian memanfaatkan data citra untuk menunjukkan bahwa distribusi, migrasi, dan kelimpahan ikan cakalang sangat dipengaruhi faktor lingkungan laut, antara lain suhu permukaan laut (SST), klorofil-a (CHL), dan anomali tinggi permukaan laut (Zainuddin *et al.*, 2008; Mugo *et al.*, 2010). *Hotspot* ikan cakalang diduga pula sangat kuat terkait dengan dinamika *front*, *eddy*, dan *upwelling* (Lehodey *et al.*,

1997; Polovina *et al.*, 2001; Zainuddin *et al.*, 2013a; 2017). Bahkan di perairan Teluk Bone juga ditemukan adanya asosiasi signifikan antara sebaran suhu permukaan laut dan klorofil-a yang diamati dari citra satelit Aqua/MODIS dengan hasil tangkapan ikan cakalang (Zainuddin, 2011).

Kemajuan ilmu pengetahuan telah meningkatkan pengertian berbagai aspek tentang lingkungan dan sebagai akibatnya banyak peristiwa yang dapat diramalkan. Kecenderungan untuk meramalkan peristiwa dengan tepat dapat memberikan dasar yang lebih baik bagi perencanaan. Data *time series* dapat digunakan untuk membuat peramalan dan nantinya hasil peramalan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan lokasi penangkapan ikan. Untuk menentukan metode peramalan pada data *time series* perlu diketahui pola dari data tersebut sehingga peramalan dilakukan dengan metode yang sesuai.

3. Konsep peramalan *Box-Jenkins*

Peramalan adalah salah satu unsur yang sangat penting bagi perencanaan atau pengambilan keputusan (Azriati, 2014). Metode peramalan sampai saat ini telah mengalami perkembangan yang cukup pesat. Salah satu faktor penting dalam peramalan adalah *time series* atau deret waktu dari sebuah data.

Beberapa institusi negara telah mencoba meramalkan potensial bahkan sampai menentukan daerah penangkapan ikan. Kebanyakan metode yang digunakan merupakan metode spasial klasik, dimana dalam prosesnya menggunakan rata-rata dari data sebelumnya. Meskipun hal ini dikatakan bisa menggambarkan daerah penangkapan ikan dengan akurasi yang cukup baik, tapi masih banyak metode-metode peramalan yang bisa digunakan. Beberapa model seperti *Box-Jenkins* ramai digunakan untuk memprediksi ketinggian permukaan air (Selitubun *et al.*, 2017), pasang surut (Wicaksono *et al.*, 2016), curah hujan (Tantika *et al.*, 2018), hingga produksi perikanan (Tsitika *et al.*, 2007). Tapi dalam penggunaannya belum ada penelitian yang menggunakan model *Box-Jenkins* ini sebagai dasar dalam pembuatan peta Zona Potensial Penangkapan Ikan (ZPPI).

Metode atau model *Box-Jenkins* merupakan salah satu model peramalan yang dapat digunakan untuk prakiraan atau prediksi daerah penangkapan ikan. Model ini merupakan salah satu model prakiraan atau prediksi deret berkala dengan metode runtun waktu yang bertujuan untuk mencari pola data yang paling cocok dari sekelompok data dan memanfaatkan sepenuhnya data lampau dan data saat ini untuk menghasilkan peramalan jangka pendek yang akurat. Runtun waktu adalah serangkaian data pengamatan yang terjadi berdasarkan indeks waktu secara beruntun dengan interval waktu tetap (Aswi & Sukarna, 2006).

Beberapa langkah penting dalam memilih suatu model atau metode deret waktu adalah dengan mempertimbangkan jenis dan pola deret data. Metode peramalan ini secara garis besar dikenal empat jenis pola data (Hendikawati, 2015), yaitu:

a) Pola horizontal (Gambar 4a)

Pola ini adalah pola data yang berfluktuasi di sekitar rata-rata nilai data atau secara umum dikatakan pola yang konstan. Hal ini berarti pola ini bisa dikatakan tidak memiliki trend yang meningkat ataupun menurun secara sistematis pada waktu atau musim tertentu.

b) Pola trend (Gambar 4b)

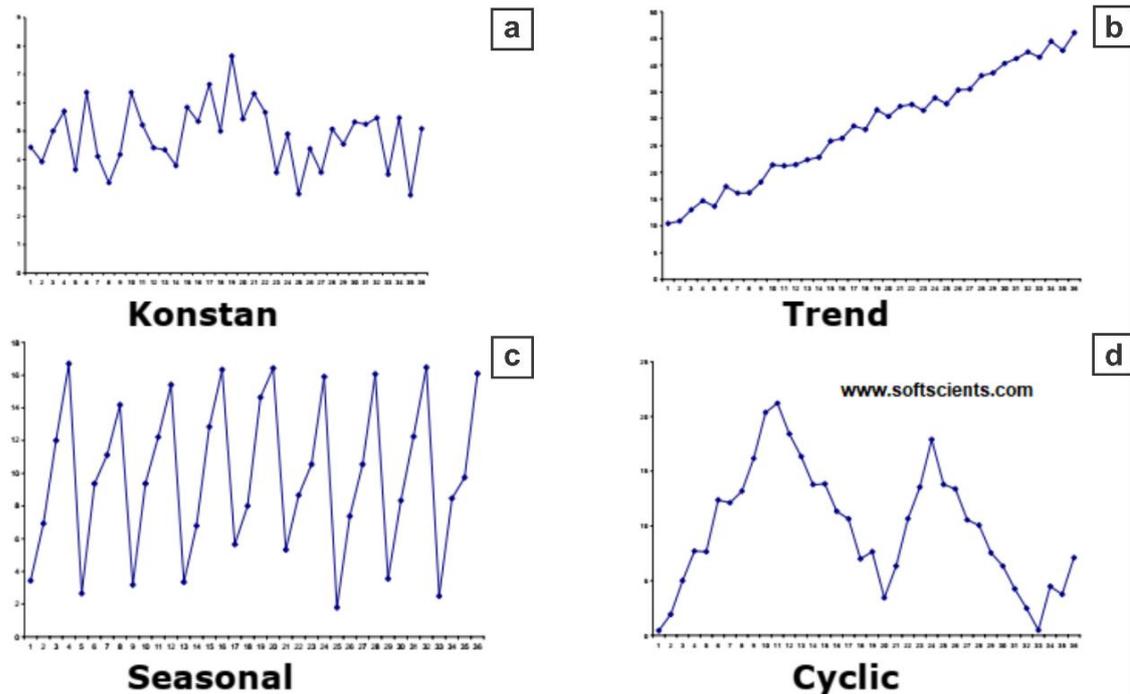
Seperti namanya, pola ini memiliki *trend* atau pergerakan jangka Panjang yang menunjukkan kenaikan ataupun penurunan. Pola ini dapat ditunjukkan dengan melihat kurva yang dapat mengabarkan kecenderungan umum dari suatu data berkala

c) Pola musim (Gambar 4c)

Pola data yang dipengaruhi faktor musiman memiliki gerakan atau pola yang tetap atau identik pada rentang waktu tertentu.

d) Pola siklis (Gambar 4d)

Pola data yang mengandung siklis memiliki gerakan naik turun di sekitar garis trend dalam jangka panjang. Gerakan siklis biasanya bisa berulang pada waktu yang panjang, tetapi juga bisa tidak berulang dalam jangka waktu yang sama.



Gambar 4. Pola data deret waktu/*time series* (sumber: <https://softscients.com/>)

Selain mengetahui pola, hal penting yang juga harus diperhatikan adalah sifat data stasioner. Deret data dapat dianalisis jika data memenuhi asumsi stasioner. Data dikatakan stasioner jika tidak terdapat kenaikan ataupun penurunan data secara tajam. Terdapat dua jenis stasioner yang dapat menjadi indikator penilaian menurut Aswi & Sukarna (2006), yaitu:

a) Stasioner dalam rata-rata

Kestasioneran dalam rata-rata dapat dilihat dari diagram *time series* atau grafik fungsi *autokorelasi*. Jika pada diagram *time series* data terlihat berfluktuasi di sekitar garis deviasi maka dikatakan stasioner dalam rata-rata. Selain itu, ketidak stasioneran data dapat diidentifikasi dari grafik fungsi *autokorelasi*, yaitu *lag* akan menurun mendekati nol pada *lag* yang cukup panjang atau dapat dikatakan menurun secara sinusoidal.

Perihal untuk mengatasi ketidak stasioneran data dalam rata-rata dapat dilakukan *differencing non-musiman* untuk data yang tidak mengandung pola musiman sedangkan untuk pola data yang mengandung musiman dapat dilakukan *differencing musiman*. Tahapan *differencing* suatu data runtun waktu didefinisikan sebuah variabel baru w_t yang merupakan deretan besarnya perubahan runtun waktu Z_t .

b) Stasioner dalam variasi

Kestasioneran data dalam variasi dapat diidentifikasi melalui grafik *time series*. Pergerakan data *series relative* tetap, maka data bisa diidentifikasi secara visual sebagai

stasioner dalam variasi. Selain itu, grafik *Box-Cox* juga dapat mengidentifikasi stasioner dalam variasi ini. Apabila pada grafik *Box-Cox* menunjukkan *rounded value* sama dengan satu, maka data bisa dinyatakan stasioner terhadap variasi. Untuk mengatasi ketidak stasioneran pada metode ini dapat dilakukan transformasi data dengan metode transformasi kuasa (*the power of transformation*) dengan lambda (λ) sebagai parameter transformasi nya. Adapun nilai lambda yang dapat digunakan tercantum pada Tabel 1:

Tabel 1. Nilai lambda dan transformasi (Aswi & Sukarna, 2006)

No.	Nilai λ	Transformasi
1	-1	$\frac{1}{Z_t}$
2	-0.5	$\frac{1}{\sqrt{Z_t}}$
3	0	$\ln Z_t$
4	0.5	$\sqrt{Z_t}$
5	1	Z_t (tidak ada tranformasi)

Tabel di atas menjelaskan jika jenis lambda akan memengaruhi pilihan rumus transformasi yang digunakan. Dampak yang ditimbulkan jika analisis data dilakukan tanpa memerhatikan kestasionerannya, data akan membuat model yang dihasilkan kurang maksimal atau kurang baik.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, diperoleh beberapa masalah dalam karakterisasi daerah yang memiliki nilai potensial tinggi untuk ikan cakalang di WPP-NRI 713 seperti berikut:

1. WPP-NRI 713 memiliki daerah yang cukup luas yang terdiri dari beberapa perairan yang berbeda, hal ini bisa menjadi penyebab adanya perbedaan karakteristik oseanografi pada masing-masing perairan di WPP-NRI 713.
2. Karakteristik habitat ikan cakalang secara garis besar merupakan penelitian atau isu yang tidak lagi baru, hanya saja dalam beberapa penelitian sebelumnya tidak begitu dijelaskan secara detail perbedaan karakteristik habitat ikan cakalang dewasa dan belum dewasa berdasarkan parameter oseanografi dan penggunaan alat bantu dalam penangkapannya.
3. Beberapa fenomena di perairan diperkirakan bisa menjadi faktor dalam penentuan daerah potensial penangkapan ikan di perairan. Fenomena *front line* dan *eddies* di perairan merupakan prediktor dari *hotspot* yang dapat memperlihatkan keterkaitannya untuk ikan cakalang. Diduga fenomena ini dapat juga

memperlihatkan daerah distribusi dan perpindahan ikan cakalang secara spasial di perairan.

4. Prediksi ZPPI cakalang secara positif bisa dilakukan menggunakan data satelit oseanografi. Tetapi data satelit tidak tersedia pada bulan yang sama, bahkan beberapa data tersedia 2-3 bulan setelah bulan prediksi. Oleh karena itu, diperlukan model peramalan terhadap data satelit sehingga dapat memprediksi ZPPI secara *real-time*.

Uraian di atas menjadi acuan dalam perumusan masalah pada penelitian ini, sehingga rumusan masalah yang didapatkan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik oseanografi di perairan WPP-NRI 713?
2. Bagaimana karakteristik habitat ikan cakalang dewasa dan belum dewasa berdasarkan parameter oseanografi dan penggunaan alat bantu penangkapan?
3. Apa pengaruh fenomena *front* dan *eddies* terhadap distribusi dan pola perpindahan ikan cakalang?
4. Bagaimana model terbaik yang dapat digunakan untuk meramalkan parameter oseanografi?

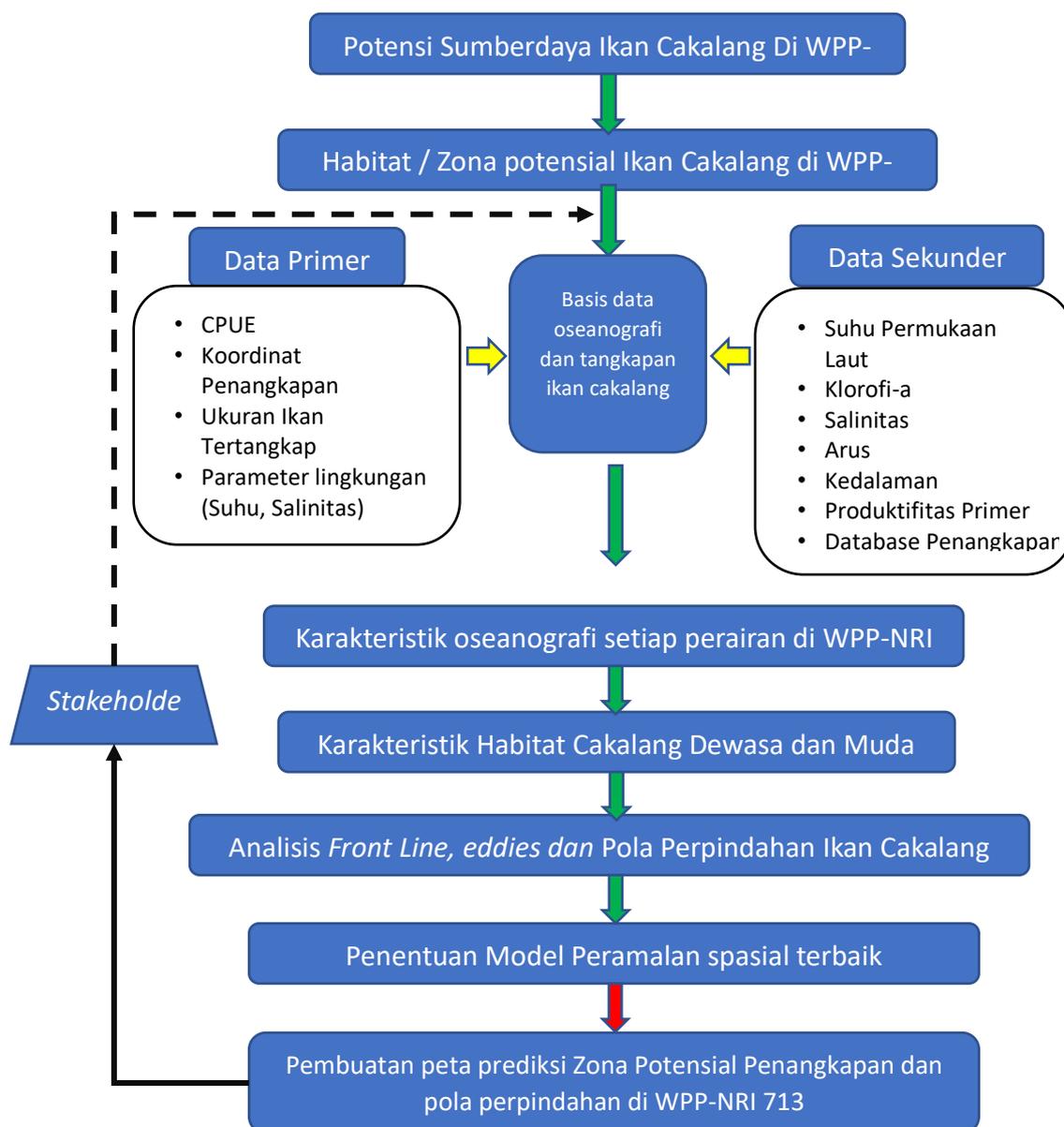
C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang didapatkan, maka tujuan penelitian ini dijabarkan menjadi empat, sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik oseanografi di setiap perairan di WPP-NRI 713.
2. Mengkaji perbedaan karakteristik habitat ikan cakalang dewasa dan belum dewasa.
3. Menganalisis pengaruh fenomena *front* dan *eddies* terhadap distribusi dan pola perpindahan ikan cakalang di WPP-NRI 713.
4. Mengembangkan model spasial untuk peramalan ZPPI cakalang.

D. Kerangka Konsep Penelitian

Kerangka penelitian menempatkan *stakeholder* serta nelayan sebagai pengguna dan orang yang memberikan validasi terhadap model yang digunakan untuk membuat peramalan ZPPI di WPP-NRI 713.



Gambar 5. Kerangka konsep penelitian

E. Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian, maka hipotesis penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Karakteristik oseanografi perairan di WPP-NRI 713 memiliki perbedaan distribusi dan rata-rata secara spasial dan temporal.
2. Terdapat perbedaan yang jelas terhadap karakteristik habitat ikan cakalang dewasa dan belum dewasa baik dalam hal parameter oseanografi maupun metode penangkapan ikan.
3. Fenomena *front* dan *eddy* menjadi indikator *hotspot* atau daerah potensial yang dapat dijadikan variabel untuk melihat pola perpindahan ikan cakalang di perairan.

4. Model yang didapatkan melalui metode *time series Box-Jenkins* dapat meramalkan parameter oseanografi secara berkelanjutan dan signifikan.

F. Kebaharuan (*Novelty*)

Kebaharuan dari penelitian ini meliputi:

1. Menampilkan pola perpindahan ikan cakalang di WPP-NRI 713 berbasis data spasial-temporal oseanografi mengikuti kaidah penangkapan ikan berkelanjutan.
2. Peramalan spasial parameter oseanografi dalam menunjang pembuatan peta potensial penangkapan ikan cakalang di WPP-NRI 713 yang lebih akurat.

II. KARAKTERISTIK PERAIRAN DI WPP-NRI 713 (SELAT MAKASSAR, TELUK BONE-LAUT FLORES)

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik perairan WPP-NRI 713. Karakteristik yang ditunjukkan dalam penelitian ini akan menjadi dasar untuk penelitian selanjutnya. Data yang digunakan untuk penelitian ini meliputi data topografi perairan, karakterisasi berdasarkan jenis perairan dan data oseanografi yang didapatkan melalui satelit resolusi rendah setiap bulannya. Validitas data dilihat menggunakan uji korelasi antara data satelit dan observasi suhu permukaan laut dan salinitas. Selain itu, penilaian juga menggunakan rata-rata sebaran nilai setiap parameter pada masing-masing perairan di WPP-NRI 713, kemudian dilanjutkan dengan melihat variasi anomali nilai rata-rata untuk menentukan model atau pola musiman dari setiap variabel di setiap perairan. Hasil penelitian ini menunjukkan jika data satelit dan observasi memiliki nilai koefisien yang tinggi. Untuk Variabel suhu permukaan laut mendapatkan nilai koefisien korelasi $r = 0,77$ dan $p\text{-value} < 2,2 \times 10^{-16}$ dari total data (n) = 281, sedangkan untuk salinitas mendapatkan nilai koefisien korelasi $r = 0,71$ dan $p\text{-value} < 2,2 \times 10^{-16}$ dari total data (n) = 309. Kemudian dari variasi nilai rata-rata parameter oseanografi setiap perairan terlihat berbeda. Diduga perbedaan ini berkaitan dengan jenis perairan, jarak dari khatulistiwa, dan musim yang terjadi di Indonesia. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam penentuan kebijakan tentang pembatasan waktu penangkapan ikan dengan mempertimbangkan variasi nilai oseanografi musiman di setiap perairan.

Kata kunci: WPP-NRI 713, Selat Makassar, Teluk Bone, Laut Flores, Oseanografi

Abstract

This study aims to analyze the characterization of the waters of IFMA 713. The characteristics shown in this study will be the basis for further research. The data used for this study include water topography data, characterization based on water types, and oceanographic data obtained through low-resolution satellites every month. The validity of the data is seen using a correlation test between satellite data and observations of sea surface temperature and salinity. Besides that, the assessment also uses the average distribution of the parameter values in each water in IFMA 713, then continued by looking at the average value of anomaly variation. To determine the model or seasonal pattern of each variable in each water. The results of this study indicate that satellite and observation data have a high coefficient value. For sea surface temperature, the correlation coefficient value $r = 0.77$ and $p\text{-value} < 2.2 \times 10^{-16}$ from the total data (n) = 281, while for salinity the correlation coefficient value $r = 0.71$ and $p\text{-value} < 2.2 \times 10^{-16}$. from the total data (n) = 309. Then from the variation of the average value of the oceanographic parameters, each water looks different. It is suspected that this difference is related to the type of waters, the distance from the equator, and the occur seasons in Indonesia. The results of this study can be used as a reference in determining policies regarding the limitation of fishing time by considering variations in seasonal oceanographic values in each water.

Key word: IFMA 713, Makassar Strait, Bone Gulf, Flores Sea, Oceanography

A. Pendahuluan

Indonesia adalah negara kepulauan dengan keunikan dan kondisi maritim kompleks karena aliran arus, kedalaman perairan yang beragam, banyaknya sumber air tawar, dan interaksi daratan terhadap lautan (Atmadipoera *et al.*, 2009; Purba & Pranowo, 2015). Laut Indonesia terletak di sekitar ekuator dengan posisi batas daerah yang hampir terbagi dua oleh garis khatulistiwa dan secara tidak langsung menjadi batas antara dua samudra besar, yaitu Hindia dan Pasifik. Hal ini menimbulkan berbagai peristiwa unik yang memengaruhi tata laut (Nugraha *et al.*, 2018; Sprintall *et al.*, 2019). Lautan Indonesia dilewati empat jalur utama sirkulasi termohalin global dan dominan masuk melalui bagian utara perairan Indonesia (Song *et al.*, 2004). Massa air berinteraksi dengan curah hujan lokal dan bercampur dengan air yang berasal dari sungai. Sistem ini disebut *Indonesian throughflow* (ITF), membentuk berbagai massa air dan secara signifikan memengaruhi sirkulasi global (Makarim *et al.*, 2019). Berdasarkan sifatnya yang dinamis, pemantauan diperlukan untuk meningkatkan pengetahuan kita tentang perairan Indonesia. Hal ini penting sebagai data dasar untuk pemodelan dan prediksi iklim laut di masa depan. Karakteristik perairan termasuk interaksinya dengan atmosfer di atasnya dan cekungan telah dipelajari secara ekstensif (Susanto *et al.*, 2010; Havis & Yunita, 2017; Sprintall *et al.*, 2019). Sebagian besar studi sebelumnya berfokus terutama pada area tertentu (Atmadipoera *et al.*, 2009; Hutabarat *et al.*, 2018; Nugraha *et al.*, 2018; Purba *et al.*, 2018).

Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 713 (WPP-NRI 713) merupakan salah satu dari 11 wilayah pengelolaan di Indonesia. Wilayah pengelolaan ini terdiri atas empat perairan yaitu Selat Makassar, Teluk Bone, Laut Flores, dan Laut Bali dengan karakteristik perairan yang berbeda. Dilaporkan bahwa pada tahun 2014 kontribusi produksi di bidang perikanan tangkap oleh WPP-NRI 713 sebesar 12,43% dari keseluruhan produksi di Indonesia. Angka ini hanya diungguli oleh WPP-NRI 712 yang berada di sebelah atau berbatasan langsung dengan WPP-NRI 713.

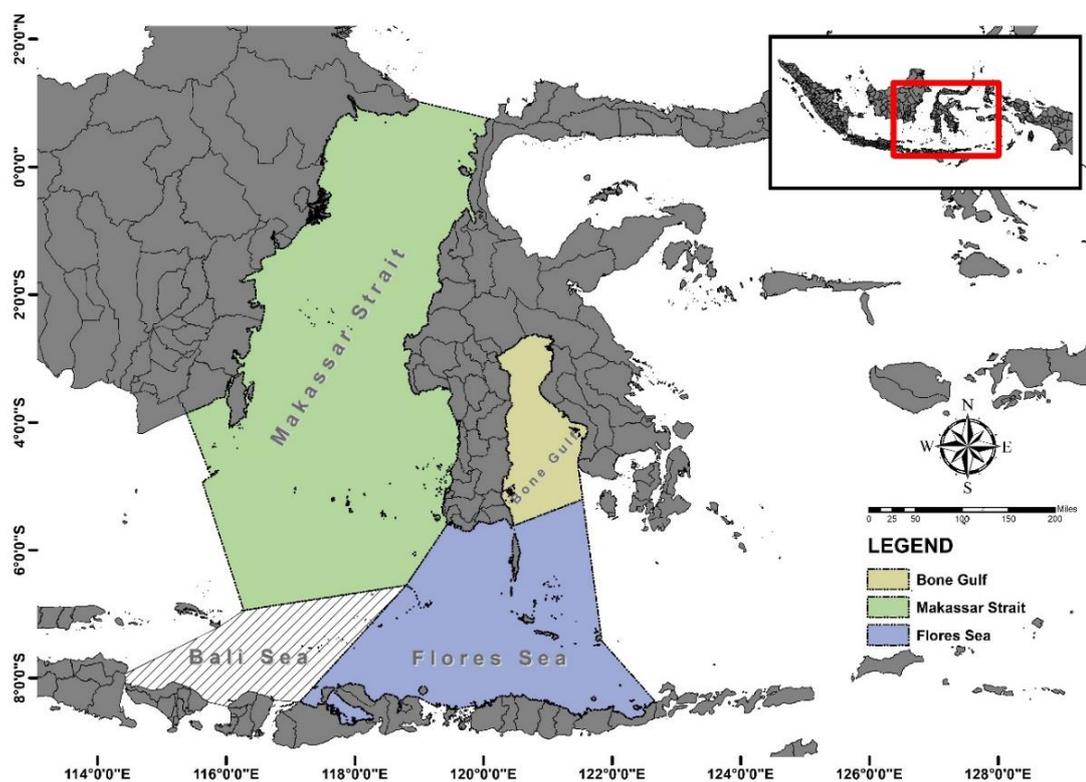
Menurut Kepmen No. 47 tahun 2016, estimasi potensi sumber daya ikan pada wilayah ini mencapai 1.026,6 ton. Capaian angka ini diperkirakan akan didominasi oleh jenis ikan pelagis besar dengan nilai estimasi 419,3 ton. Pada tahun 2017 melalui Kepmen No. 50 Kementerian Kelautan dan Perikanan, estimasi potensi meningkat hingga 1.177,59 ton dengan potensi ikan pelagis besar yang juga ikut meningkat sebesar 654,058 ton. Hal ini tidak lepas dari luas dan letaknya yang merupakan salah satu jalur migrasi dari ikan pelagis besar yang berasal dari Samudra Pasifik. Letak WPP-NRI 713 yang berada di garis khatulistiwa membuat aktivitas penangkapan ikan dapat terjadi disetiap tahunnya.

Meskipun demikian, dengan adanya empat perairan yang merupakan area WPP-NRI 713 mungkin saja dapat memperlebar rentang kesalahan yang terjadi dalam penelitian di area ini. Terlebih lagi setiap perairan di dalamnya memiliki keunikan dan bentuk perairan yang berbeda. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah mencoba melihat karakteristik masing-masing perairan yang ada di WPP-NRI 713 dari segi faktor oseanografi dengan pendekatan *remote sensing*.

B. Metodologi

1. Batasan daerah penelitian

Penelitian ini mengkaji daerah WPP-NRI 713 berdasarkan Kepmen-KP No. 18 tahun 2014 yang dipadukan dengan publikasi oleh *International Hydrographic Organization* (IHO) pada yang berjudul *Limits of Oceans and Seas* pada tahun 1953. Kedua referensi ini dijadikan acuan untuk membatasi daerah kajian yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Daerah penelitian WPP-NRI 713 (Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores)

Analisis pada Laut Bali tidak dilakukan. Hal ini dikarenakan tidak tersedianya koordinat observasi lapangan sebagai referensi pada perairan ini.

2. Data satelit

Data satelit yang digunakan merupakan data oseanografi seperti suhu permukaan laut serta klorofil-a melalui laman <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>, kedalaman perairan

melalui laman <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>, produktivitas primer melalui laman <http://orca.science.oregonstate.edu/>, arus, salinitas, dan ketinggian permukaan laut melalui laman <https://marine.copernicus.eu/>. Seluruhnya merupakan data bulanan dengan resolusi 4 km dan 9 km. Data yang digunakan mulai Januari 2010 sampai Desember 2019 (10 tahun) kecuali pada data arus dan salinitas yang mulai Januari 2016 sampai Desember 2019 (4 tahun).

3. **Processing Data**

a) Pemotongan data citra satelit

Processing data dilakukan menggunakan metode GIS dimana setiap perairan di WPP-NRI 713 akan dipisahkan kemudian dilakukan visualisasi setiap parameter oseanografi untuk melihat perbedaan karakteristik setiap perairan. Sebelum dilakukan visualisasi, terlebih dahulu dilakukan pemotongan data menggunakan *file polygon* setiap perairan. *File polygon* yang digunakan dibuat berdasarkan Kepmen dan dipadukan dengan publikasi mengenai batas wilayah perairan dunia oleh *International Hydrographic Organization* (IHO) edisi ke-3. Hal ini bertujuan untuk mengurangi resiko bias dari data. Pada proses pemotongan ini menggunakan *software* SeaDAS 7.8.

b) Visualisasi data citra satelit

Data citra satelit dengan batas daerah tertentu divisualisasi setiap bulan pada tahun penelitian. Teknik ini menggunakan *software* ArcGIS 10.2 dengan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW). Metode IDW dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Paramasivam & Venkatramanan, 2019):

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i}{d_i^p} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^p} \right)}$$

Dimana: Z_i = nilai dari titik yang diketahui (diberi atribut numerik), d_i = jarak ke titik yang diketahui, Z_p = titik yang tidak diketahui (angka yang dikaitkan untuk interpolasi), n = jumlah pengamatan, dan p = eksponen yang dipilih pengguna (pangkat jarak).

c) Uji Korelasi parameter oseanografi *in-situ* dan *ex-situ*

Data *in-situ* merupakan data observasi lapangan yang diambil dengan mengikuti operasi penangkapan ikan cakalang menggunakan alat tangkap *purse seine* dan *pole-and-line*. Pengukuran nilai suhu permukaan laut menggunakan *thermometer* digital, dan untuk salinitas menggunakan *hand-refractometer*. Data *ex-situ* merupakan data satelit yang dapat diunduh dari *web database* yang disediakan oleh NASA maupun penyedia data lainnya. Data observasi lapangan dikorelasikan dengan data citra melalui

penghitungan koefisien korelasi *Pearson* menggunakan persamaan yang diolah pada *software* R-Studio untuk mengetahui hubungan diantara keduanya (Walpole, 1993):

$$Korelasi = r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \cdot \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

Asumsi yang digunakan untuk uji korelasi adalah sampel data berpasangan (x,y) merupakan data kuantitatif serta pasangan data (x,y) harus terdistribusi normal. Koefisien korelasi digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier dari dua variabel serta tidak selalu ada hubungan sebab akibat diantara kedua variabel tersebut. Korelasi hanya menjelaskan kekuatan hubungan tanpa memperhatikan hubungan kausalitas, mana yang dipengaruhi dan mana yang memengaruhi. Variabel data citra satelit berperan sebagai variabel x dan data observasi berperan sebagai variabel y .

d) Karakterisasi berdasarkan anomali

Rata-rata nilai dari perairan ini akan dibuat menjadi grafik untuk melihat pola rata-rata nilai parameter selama penelitian. Selain itu, untuk mempertegas pola setiap tahunnya, maka dibuat grafik berdasarkan anomali setiap bulan. Nilai anomali didapatkan dengan persamaan berikut (Sartimbul *et al.*, 2018):

$$\delta_{ij} = \bar{T}_{ij} - \bar{T}_i$$

Dimana: δ_{ij} = anomali variabel, \bar{T}_{ij} = rata-rata nilai variabel pada bulan dan tahun tertentu, dan \bar{T}_i = rata-rata nilai variabel sepanjang tahun penelitian atau rata-rata keseluruhan.

C. Hasil

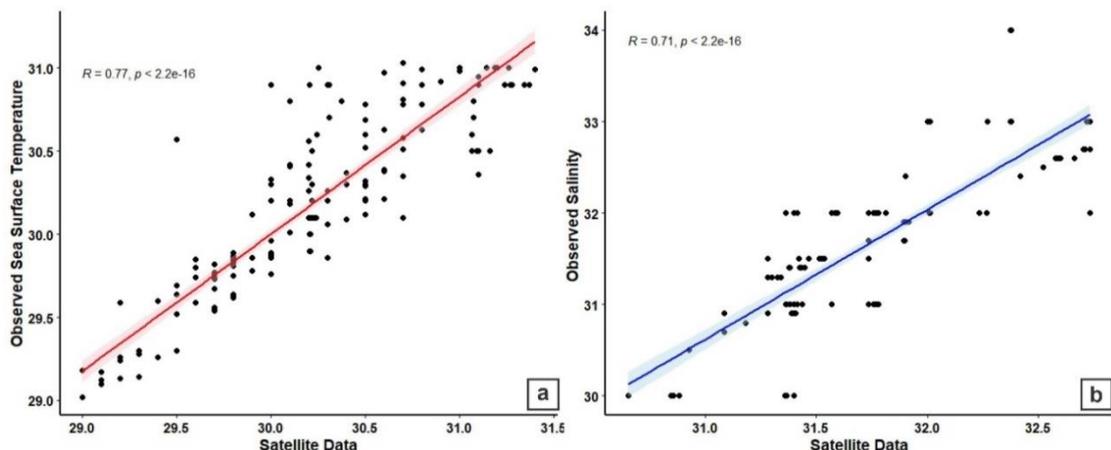
Penelitian ini dibagi menjadi tiga area penelitian pada WPP-NRI 713 yaitu, Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores. Data observasi yang didapatkan berupa suhu permukaan laut dan salinitas permukaan laut, sedangkan parameter lainnya tidak bisa didapatkan pada saat observasi dikarenakan keterbatasan alat yang digunakan.

1. Korelasi data satelit dan observasi

Dinamika distribusi parameter oseanografi di perairan bisa menjadi parameter pembeda setiap perairan. WPP-NRI 713 merupakan gabungan beberapa perairan yang secara spasial berada pada perairan tropis. Meskipun demikian, dengan jenis perairan yang berbeda seperti Selat, Teluk, dan Laut terlihat juga ada perbedaan karakteristik perairan yang dinilai dari parameter oseanografi seperti suhu permukaan laut, klorofil-a, produktivitas primer, salinitas permukaan laut, dan arus.

Parameter fisik oseanografi merupakan indikator penting untuk mempelajari banyak hal yang terjadi di perairan. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui hubungan atau korelasi antara data citra yang merupakan data utama dalam analisis dengan data observasi lapangan. Hal ini untuk mengurangi resiko bias pada analisis yang digunakan. Secara observasi, data oseanografi yang dapat dikumpulkan langsung yaitu suhu permukaan laut dan salinitas permukaan laut. Beberapa parameter lain mendapatkan kendala dari segi alat dan luasan area penelitian.

Data citra satelit dikorelasikan dengan data observasi lapangan melalui perhitungan koefisien korelasi *Pearson*. Data oseanografi yang dilakukan analisis korelasi berupa suhu permukaan laut dan salinitas permukaan laut. Terlihat bahwa dengan menggunakan metode ini, koefisien korelasi untuk suhu permukaan laut didapatkan $r = 0,77$ dan $p\text{-value} < 2,2 \times 10^{-16}$ dengan total data (n) analisis sebanyak 281 pasangan data (Gambar 7a). Nilai konsentrasi salinitas didapatkan dengan koefisien korelasi $r = 0,71$ dan $p\text{-value} < 2,2 \times 10^{-16}$ dengan total data 309 pasangan data (Gambar 7b). Hasil dari kedua parameter uji dapat dinyatakan memiliki hubungan linear searah yang signifikan dan kuat terlihat dari nilai $p\text{-value} < 0,05$.



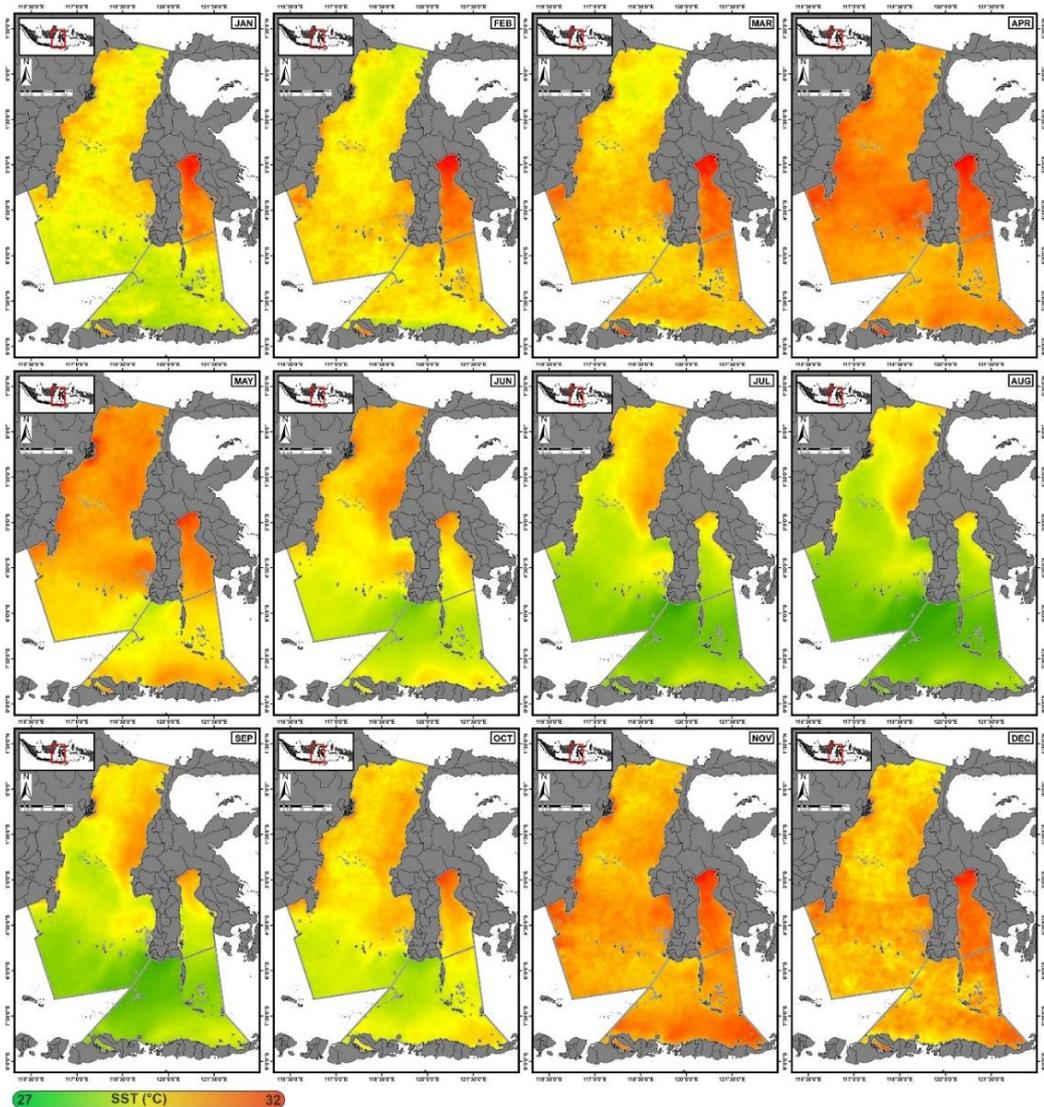
Gambar 7. Hasil korelasi data observasi dengan data *in-situ* suhu permukaan laut (a) dan salinitas permukaan laut (b).

2. Karakteristik oseanografi setiap perairan di WPP-NRI 713

a) Suhu permukaan laut

Suhu permukaan laut menjadi salah satu parameter yang sangat penting untuk memprediksi daerah penangkapan ikan. Parameter ini berkaitan dengan sifat fisiologi dari organisme di perairan. Selain itu suhu permukaan laut juga diduga memengaruhi tingkat nutrisi di perairan. Gambar 8 diperlihatkan sebaran suhu permukaan laut secara spasial. Sebaran ini memperlihatkan pola pergerakan suhu hangat yang berbeda setiap bulannya di setiap perairan.

Secara rata-rata suhu permukaan laut di Selat Makassar akan mengalami kenaikan suhu dari bulan Januari dengan nilai rata-rata $29,97 \pm 0,52^{\circ}\text{C}$ hingga bulan April sebesar $30,76 \pm 0,33^{\circ}\text{C}$. Bulan April terlihat suhu rata-rata akan terus menurun hingga mencapai bulan September sampai $28,84 \pm 0,75^{\circ}\text{C}$. Dari bulan September terlihat suhu akan meningkat kembali hingga bulan Desember. Sebaran suhu permukaan laut secara rata-rata di Teluk Bone terlihat cukup tinggi. Pada bulan Januari rata-rata suhu permukaan laut sebesar $30,80 \pm 0,39^{\circ}\text{C}$. Nilai suhu permukaan laut ini terus meningkat hingga puncaknya pada bulan April. Pada bulan Mei, suhu terlihat lebih dingin hingga titik terendah pada bulan Agustus dengan nilai suhu $28,96 \pm 0,50^{\circ}\text{C}$. Pada bulan September terlihat rata-rata suhu mulai meningkat kembali.

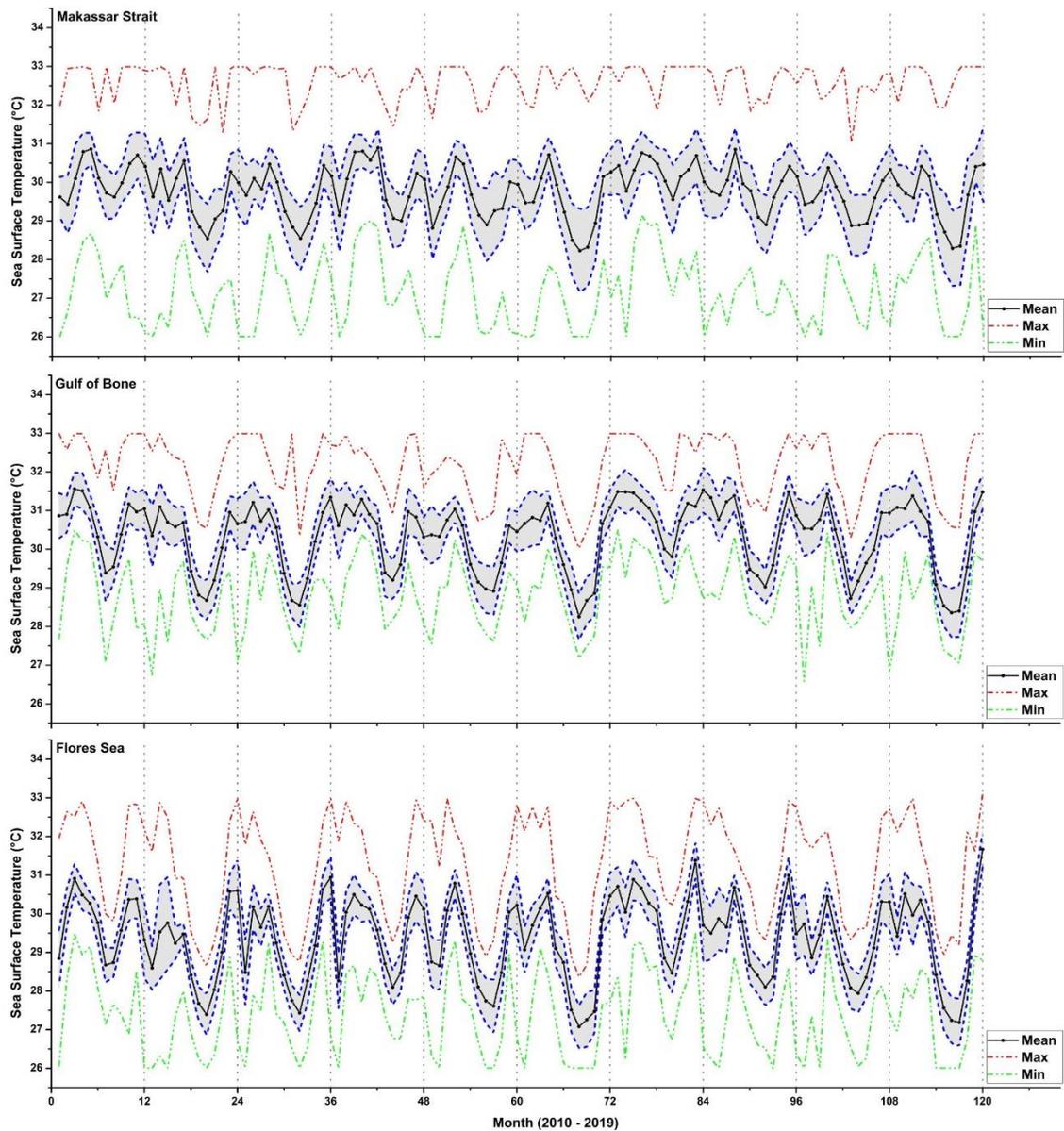


Gambar 8. Rata-rata sebaran horizontal suhu permukaan laut di WPP-NRI 713 tahun 2010 - 2019

Pada bulan Januari suhu permukaan laut di perairan Laut Flores cenderung lebih dingin dengan kisaran nilai rata-rata $29,14 \pm 0,73^{\circ}\text{C}$. Kemudian pada bulan Februari suhu rata-rata terlihat mengalami peningkatan, puncaknya pada bulan April dengan

suhu sebesar $30,36 \pm 0,44^{\circ}\text{C}$. Kemudian suhu kembali rendah, suhu rata-rata terendah didapatkan pada bulan Agustus dengan rata-rata suhu sebesar $27,83 \pm 0,54^{\circ}\text{C}$. Rata-rata suhu tertinggi didapatkan pada bulan November dengan rata-rata suhu sebesar $30,50 \pm 0,44^{\circ}\text{C}$.

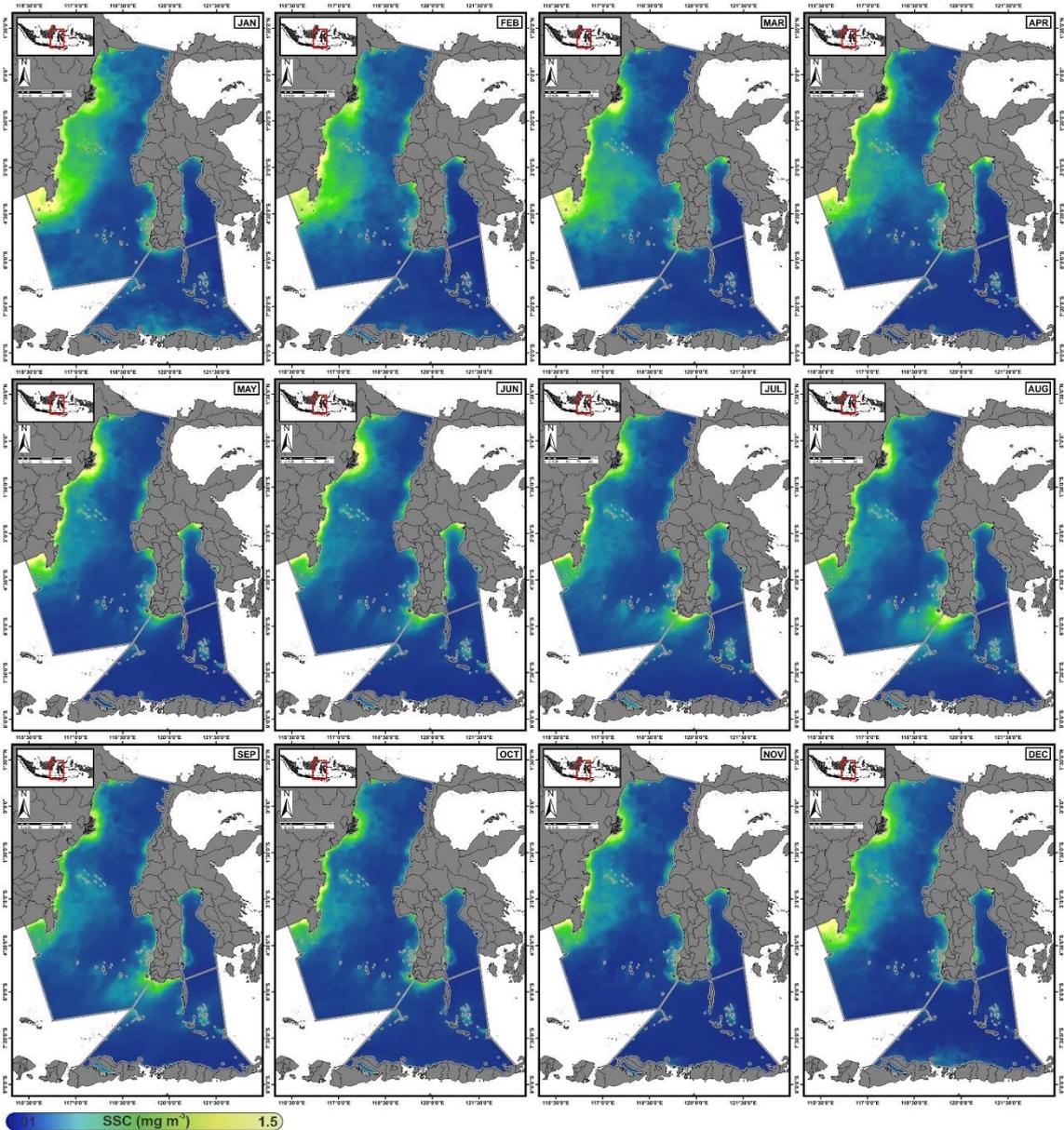
Berdasarkan grafik pada Gambar 9, diperlihatkan pola rata-rata suhu permukaan laut di Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores selama 10 tahun (2010 – 2019). Terlihat secara temporal suhu permukaan laut di setiap perairan terjadi pola musiman setiap tahunnya.



Gambar 9. Rata-rata pola sebaran suhu permukaan laut di Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores 2010 – 2019

b) Klorofil-a

Klorofil-a merupakan parameter yang banyak digunakan untuk memprediksi keberadaan ikan di lautan dan sering disandingkan dengan suhu permukaan laut. Parameter ini berhubungan kuat dengan kelimpahan nutrisi yang dapat menunjang produktivitas penangkapan ikan. Secara visual rata-rata konsentrasi klorofil-a dapat dilihat pada Gambar 10.

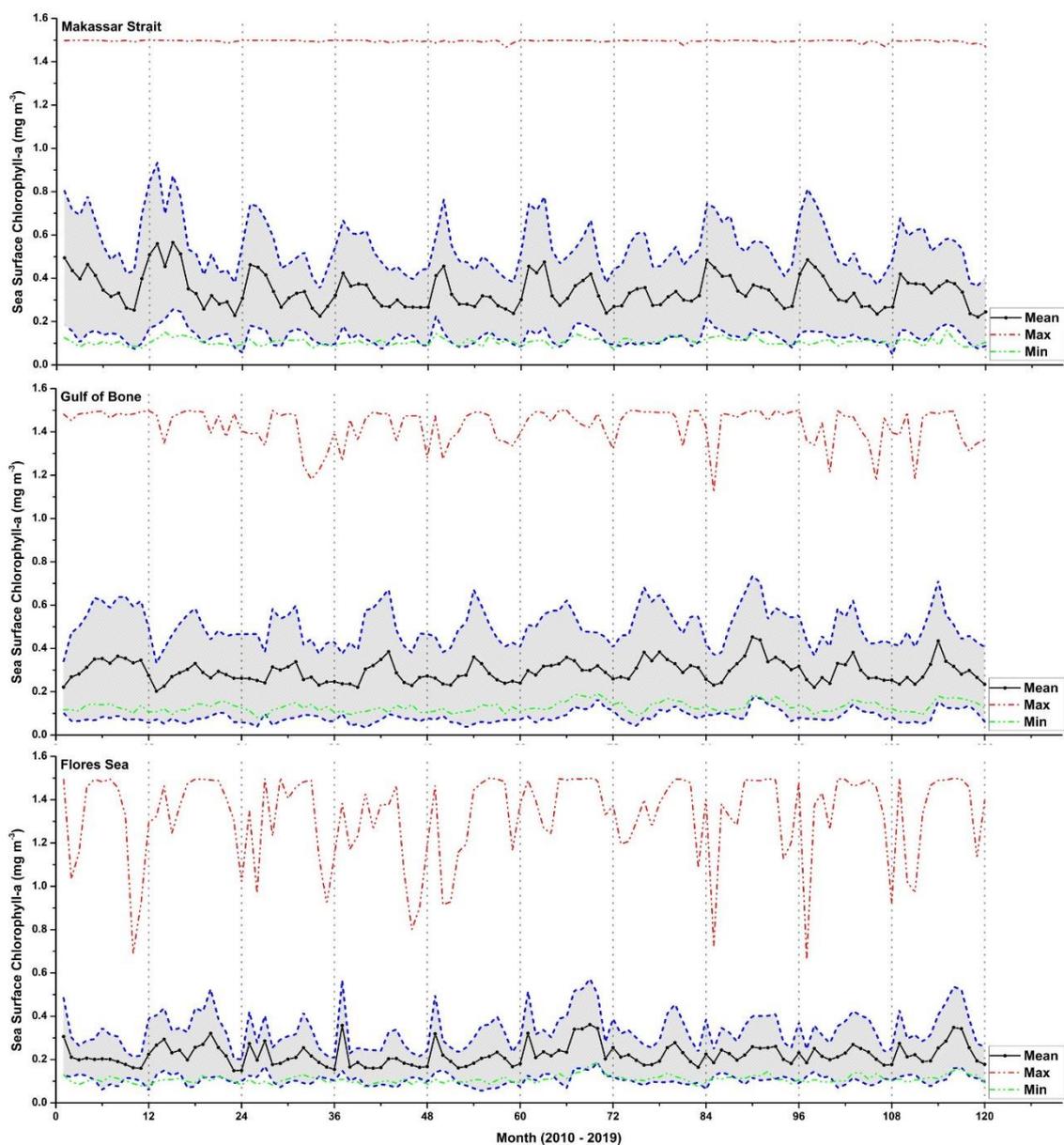


Gambar 10. Rata-rata sebaran horizontal klorofil-a di WPP-NRI 713 tahun 2010 - 2019

Melihat *trend* rata-rata yang terjadi dalam 10 tahun terakhir, konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar memperlihatkan pola nilai tertinggi pada awal tahun. Sebaliknya terendah berada pada bulan September – November (Gambar 11). Peristiwa ini menunjukkan pola musiman yang berarti berulang di setiap tahunnya. Nilai konsentrasi rata-rata tertinggi klorofil-a di Selat Makassar adalah $0,57 \text{ mg m}^{-3}$ di bulan Februari dan

paling rendah 0,22 mg m⁻³ di bulan November. Kemudian di Teluk Bone terlihat pola yang sedikit berbeda. Pada awal tahun terlihat nilai konsentrasi klorofil-a rendah kemudian meningkat pada pertengahan tahun, lalu kembali rendah pada akhir tahun. Konsentrasi tertinggi klorofil-a di Teluk Bone sebesar 0,45 mg m⁻³ pada bulan Agustus dan terendah 0,20 mg m⁻³ pada bulan Januari.

Nilai konsentrasi klorofil-a yang terjadi di Laut Flores memiliki rata-rata tertinggi 0,36 mg m⁻³ terjadi pada bulan September dan terendah pada bulan November dengan nilai konsentrasi 0,15 mg m⁻³. Pada Gambar 11 dapat dilihat jika variasi klorofil-a yang terjadi di Laut Flores memiliki rentang yang cukup sempit. Hal ini membuat perairan ini menjadi perairan dengan rata-rata nilai konsentrasi klorofil-a terendah diantara dua perairan lainnya.

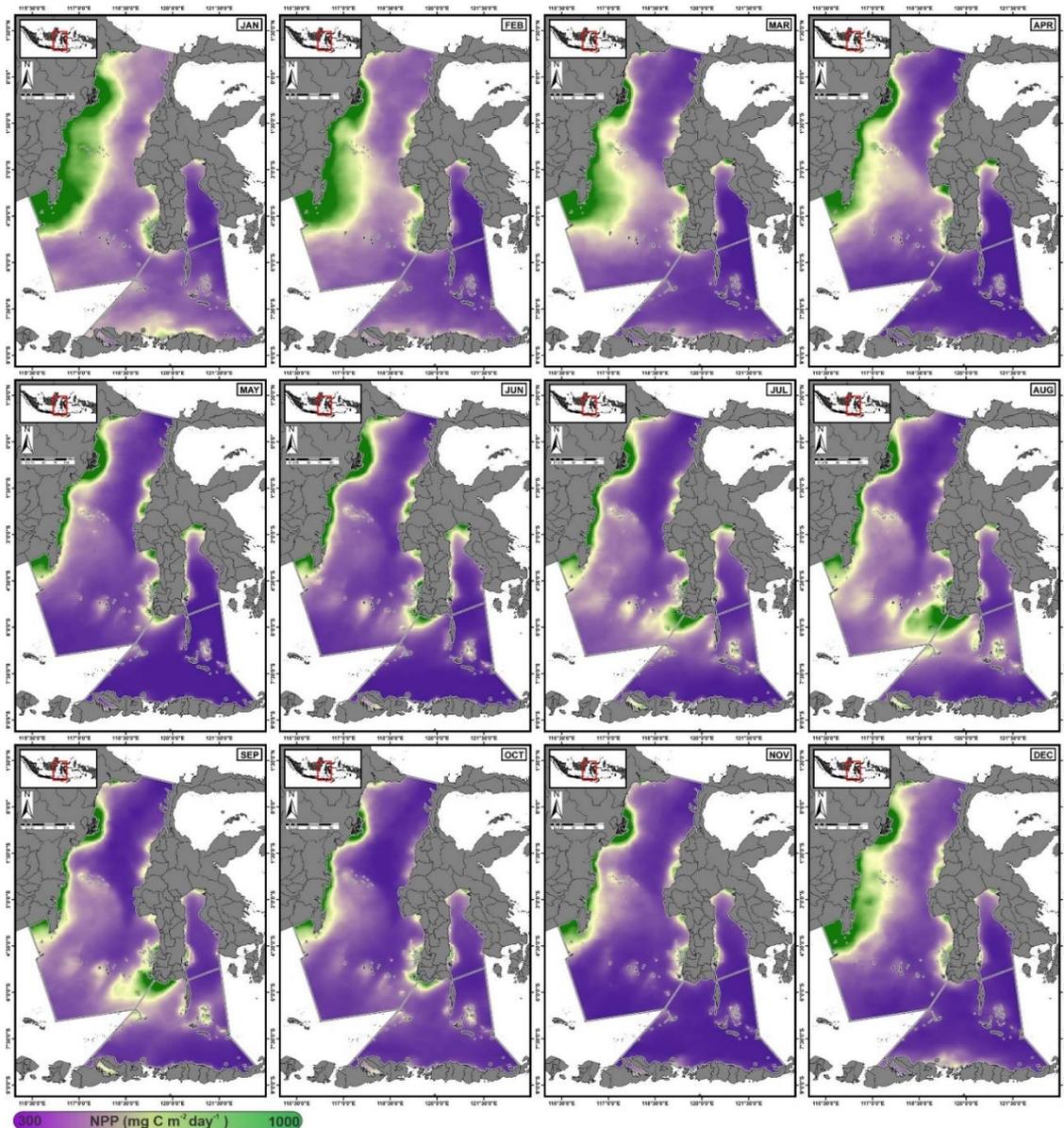


Gambar 11. Rata-rata pola sebaran klorofil-a di Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores 2010 – 2019

c) Produktivitas primer

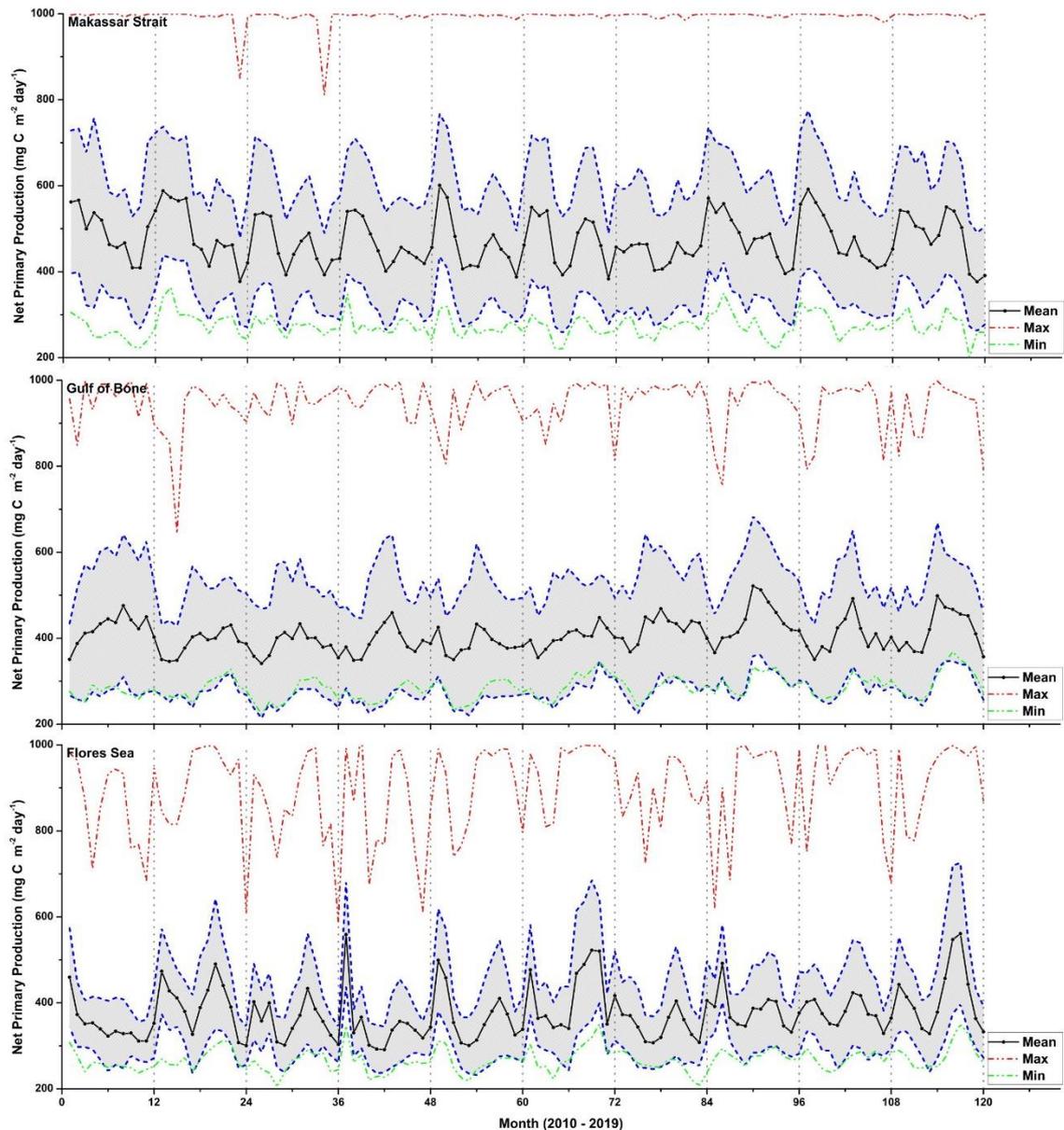
Trend rata-rata yang terjadi di Selat Makassar secara visual untuk parameter ini dapat dilihat pada Gambar 12. Mulai dari bulan Januari, terjadi penurunan rata-rata hingga kembali meningkat pada bulan Juni. Dimana rata-rata nilai produktivitas primer pada bulan Januari sebesar $549,25 \pm 43,85 \text{ mg C m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$, sedangkan bulan Juni sebesar $438,88 \pm 29,90 \text{ mg C m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$.

Dibandingkan dengan dua perairan lainnya, konsentrasi produktivitas primer di Selat Makassar lebih tinggi daripada Teluk Bone dan Laut Flores. Di Teluk Bone, nilai rata-rata bulan Juli selama 10 tahun merupakan yang terbesar terjadi dengan nilai $448,15 \pm 35,68 \text{ mg C m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$. Kemudian nilai rata-rata terkecil terjadi pada bulan Februari dengan nilai $364,84 \pm 20,99 \text{ mg C m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$.



Gambar 12. Rata-rata sebaran horizontal produktivitas primer di WPP-NRI 713 tahun 2010 - 2019

Kemudian pada perairan Laut Flores, nilai rata-rata terbesar berada pada bulan Januari sebesar $447,93 \pm 57,32 \text{ mg C m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$. Meskipun memiliki nilai yang lebih kecil dari Selat Makassar, namun Laut Flores memiliki pola yang mirip dimana setelah bulan Januari terjadi penurunan nilai konsentrasi produktivitas primer. Penurunan ini berlangsung hingga bulan Mei dengan nilai rata-rata konsentrasi sebesar $324,00 \pm 21,72 \text{ mg C m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$. Kemudian kembali meningkat hingga yang tertinggi pada bulan Agustus dengan rata-rata konsentrasi $425,48 \pm 66,78 \text{ mg C m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$. Gambar 13 memberikan gambaran jelas pola yang terjadi setiap bulannya selama kurun waktu 10 tahun, dimana dapat dilihat jika pola yang terjadi di setiap perairan memiliki perbedaan.

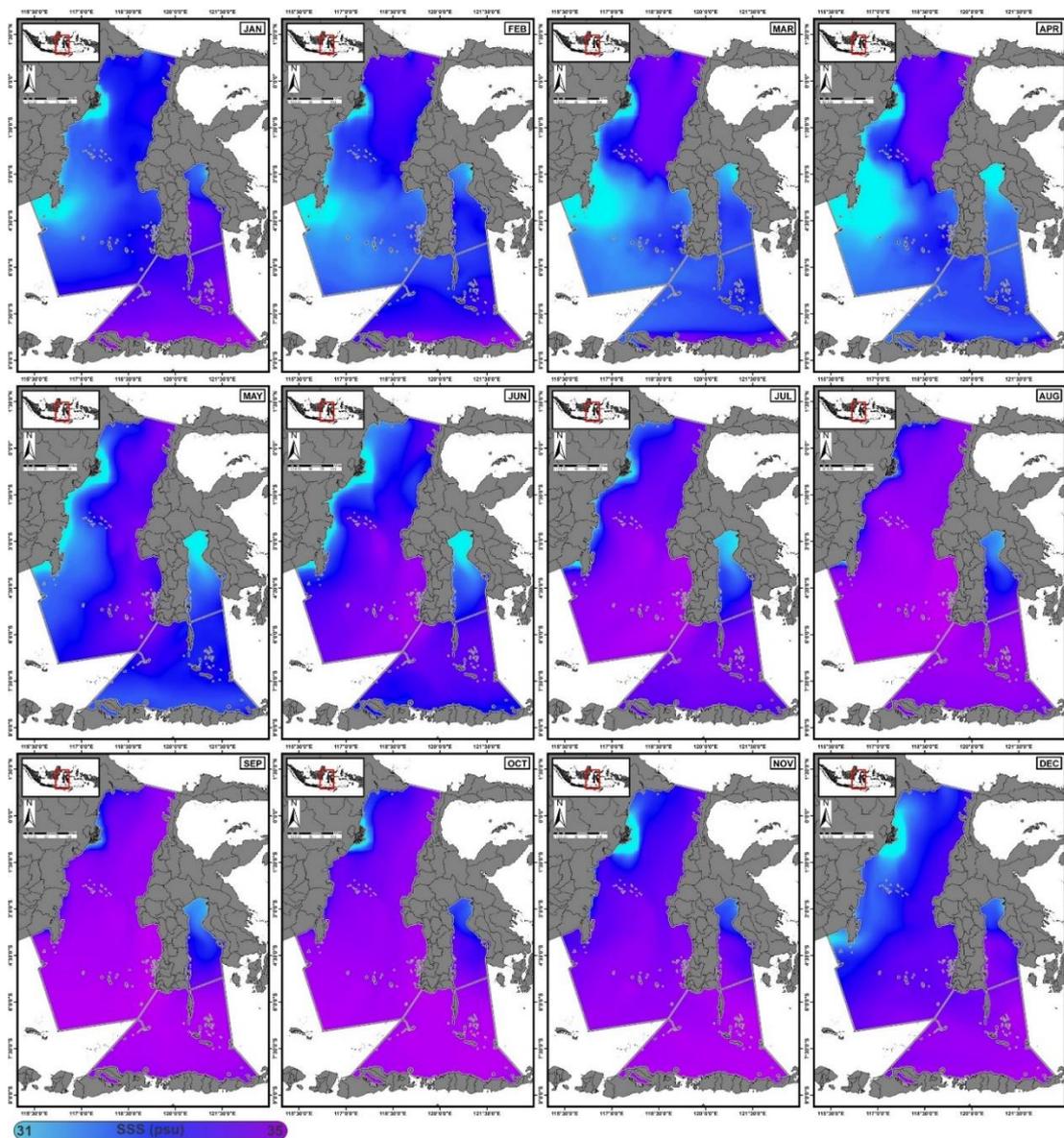


Gambar 13. Rata-rata pola sebaran produktivitas primer di Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores 2010 – 2019

Selat Makassar dan Laut Flores memiliki dua puncak nilai tertinggi, sedangkan Teluk Bone hanya satu. Meskipun demikian, bulan terjadinya kenaikan nilai konsentrasi tertinggi itu berbeda dari segi bulan. Terlihat juga bahwa nilai konsentrasi secara keseluruhan lebih tinggi di Selat Makassar dibandingkan dengan Teluk Bone dan Laut Flores.

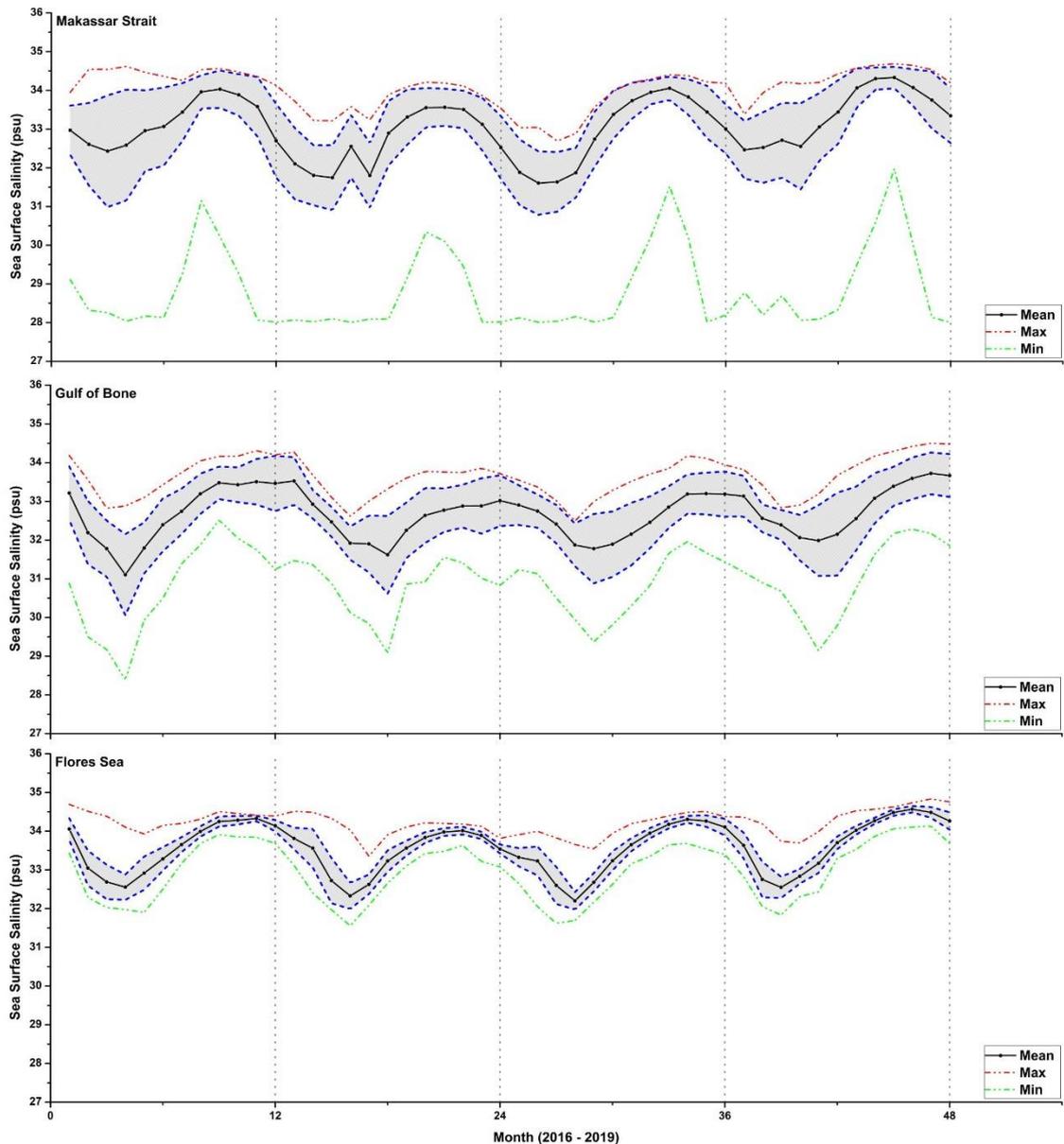
d) Salinitas

Salinitas merupakan salah satu parameter penting di perairan. Gambar 14 memperlihatkan rata-rata sebaran horizontal di perairan WPP-NRI 713 antara 2016 – 2019. Berbeda dengan tiga parameter sebelumnya, salinitas memiliki *trend* yang lebih stabil dari parameter yang lain. Hampir di setiap tahun memiliki pola yang sama, yaitu nilai salinitas rata-rata terendah berada pada bulan Maret dan tertinggi pada bulan September.



Gambar 14. Rata-rata sebaran horizontal salinitas di WPP-NRI 713 tahun 2016 - 2019

Gambar 15 memperlihatkan *trend* rata-rata, nilai salinitas terkecil dan terbesar bahkan untuk standar deviasi memiliki pola musiman. Salinitas di perairan Selat Makassar pada bulan-bulan awal terlihat tidak terlalu tinggi. Hal ini dapat dibuktikan dengan nilai rata-rata salinitas pada bulan Januari hanya berkisar $32,36 \pm 0,47$ ppt, sedangkan nilai rata-rata terendah salinitas sebesar $32,13 \pm 0,52$ ppt pada bulan Maret. Kemudian untuk nilai rata-rata tertinggi terjadi pada bulan September $33,99 \pm 0,32$ ppt.



Gambar 15. Rata-rata pola sebaran salinitas di Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores 2010 - 2019

Konsentrasi salinitas memiliki korelasi yang sejalan dengan suhu tetapi sedikit berbeda dengan klorofil-a dan produktivitas primer di perairan Teluk Bone. Meskipun demikian, konsentrasi salinitas di perairan Teluk Bone terlihat sangat rendah. Nilai rata-rata tertinggi didapatkan pada bulan Januari dan Desember yaitu $33,19 \pm 0,25$ ppt dan $33,33 \pm 0,29$ ppt. Sebaliknya nilai rata-rata terendah salinitas di perairan Teluk Bone

sebesar $31,74 \pm 0,43$ ppt terjadi pada bulan April. Bulan April merupakan bulan awal terjadinya perluasan daerah sebaran untuk klorofil-a dan produktivitas primer.

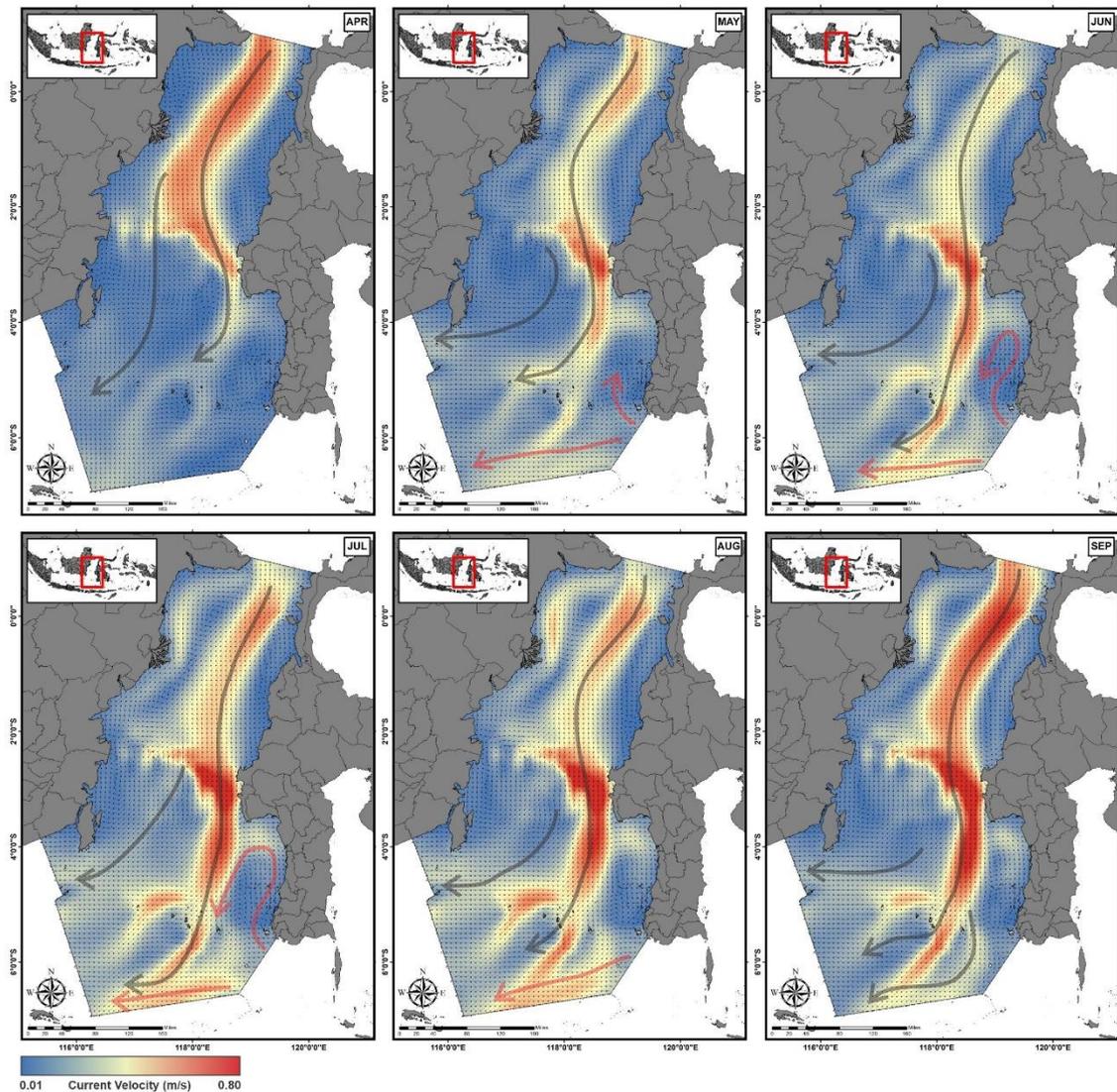
Kemudian untuk Laut Flores, nilai salinitas terendah terjadi pada bulan April sebesar $32,48 \pm 0,28$ ppt, sedangkan tertinggi terjadi pada bulan Oktober sebesar $34,29 \pm 0,23$ ppt. Nilai salinitas di Laut Flores merupakan rata-rata nilai tinggi secara keseluruhan di perairan WPP-NRI 713 selain Laut Bali. Peristiwa ini didukung dengan rendahnya nilai klorofil-a dan produktivitas primer di Perairan Laut Flores.

e) Arus

1) Selat Makassar

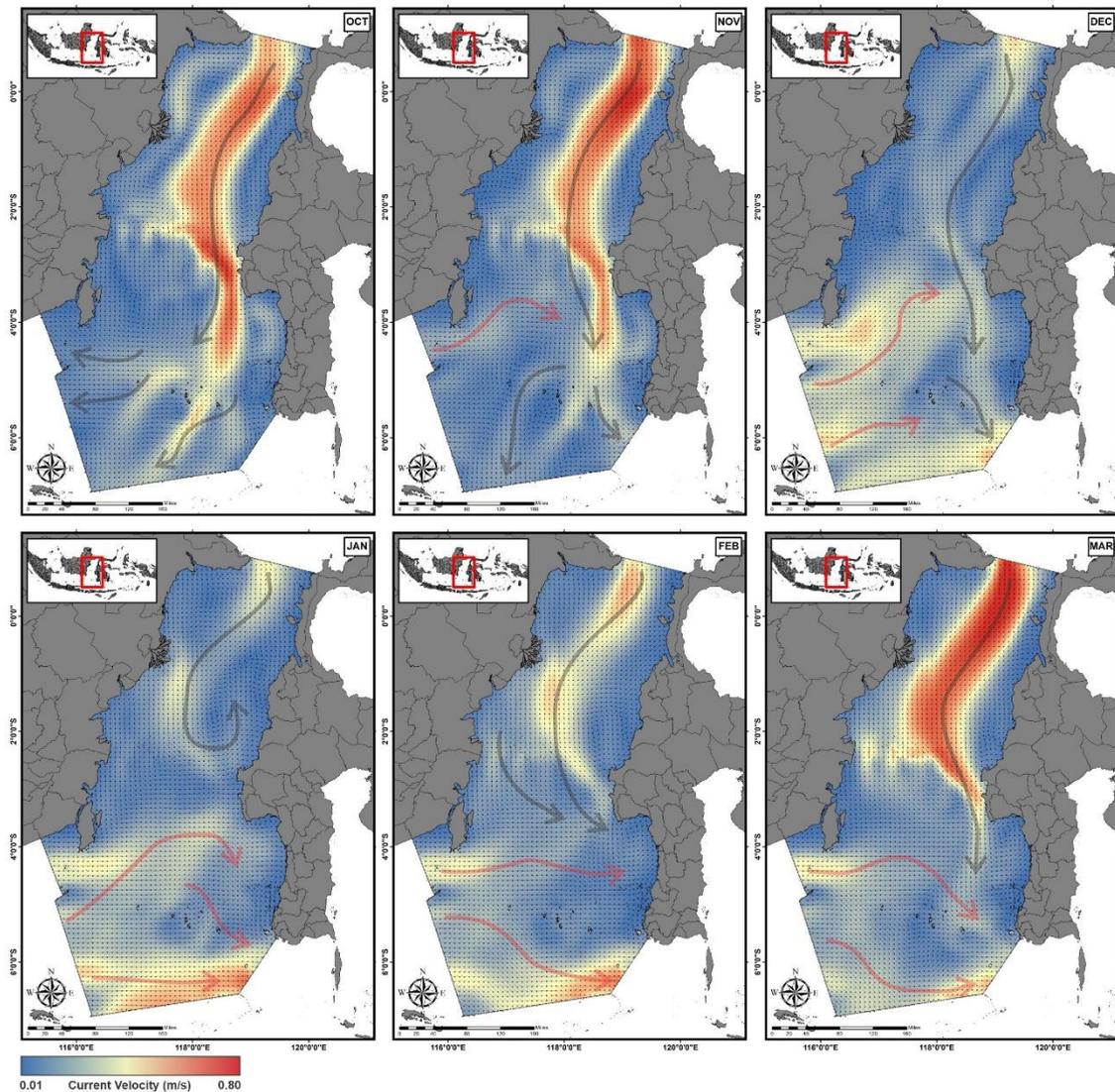
Pola arus yang terjadi di Selat Makassar terlihat mendapatkan pengaruh yang cukup besar dari kiriman air Samudra Pasifik dan juga peristiwa ARLINDO (Gordon, 2005). Pergerakan arus secara rata-rata berasal dari bagian utara Selat Makassar. Pada bulan April terlihat jika arah arus jelas mengarah ke arah selatan Selat Makassar tanpa adanya hambatan dari perairan lain (Gambar 16). Kemudian pada bulan Mei terlihat arus dari selatan yaitu Laut Flores mulai masuk ke perairan Selat Makassar. Arus ini bergerak diantara Kepulauan Spermonde dan kembali berputar ke arah selatan pada perairan Kabupaten Barru. Peristiwa ini terjadi hingga bulan Agustus yang kemudian arah arus kembali terkonsentrasi ke arah selatan.

Pada bulan November terlihat adanya aliran arus yang berasal dari perairan Laut Jawa masuk ke perairan Selat Makassar. Aliran ini masuk melalui selatan Pulau Kalimantan dengan kecepatan yang relatif sedang. Aliran ini juga menghasilkan beberapa pusaran yang cukup besar di selatan Selat Makassar.



Gambar 16. Rata-rata pergerakan arus pada bulan April – September di Selat Makassar. Garis imajiner hitam merupakan arah arus dari utara Selat Makassar, sedangkan merah merupakan arah arus yang berada di selatan Selat Makassar

Dimulai dari bulan November hingga bulan Maret (Gambar 17) aliran arus dari Laut Jawa memasuki perairan Selat Makassar. Pada bulan Januari terlihat jika aliran arus dari utara tidak lagi sampai ke selatan Selat Makassar. Aliran arus tersebut terlihat membelok di tengah Selat Makassar, sedangkan arus yang berasal dari selatan juga merambat hingga pertengahan Selat Makassar. Pada bulan Maret terlihat kecepatan arus dari utara Selat Makassar mengalami peningkatan dan kembali mengarahkan arus hingga ke selatan Selat Makassar. Searah dengan kejadian ini, aliran arus dari Laut Jawa juga kembali melemah dan tidak lagi memberikan distraksi aliran arus yang signifikan hingga pertengahan Selat Makassar.

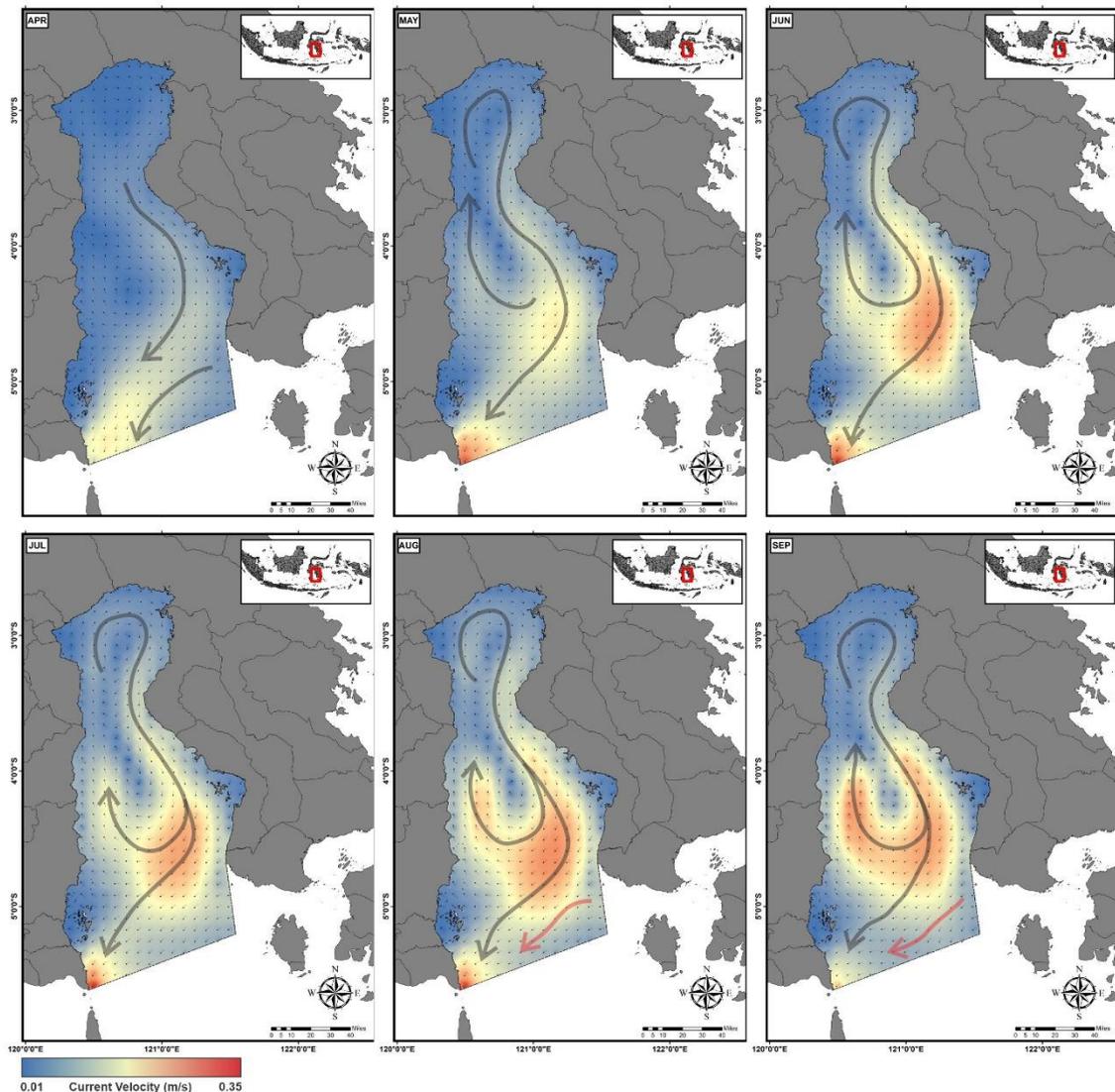


Gambar 17. Rata-rata pergerakan arus pada bulan Oktober – Maret di Selat Makassar. Garis imajiner hitam merupakan arah arus dari utara Selat Makassar, sedangkan merah merupakan arah arus yang berada di selatan Selat Makassar.

2) Teluk Bone

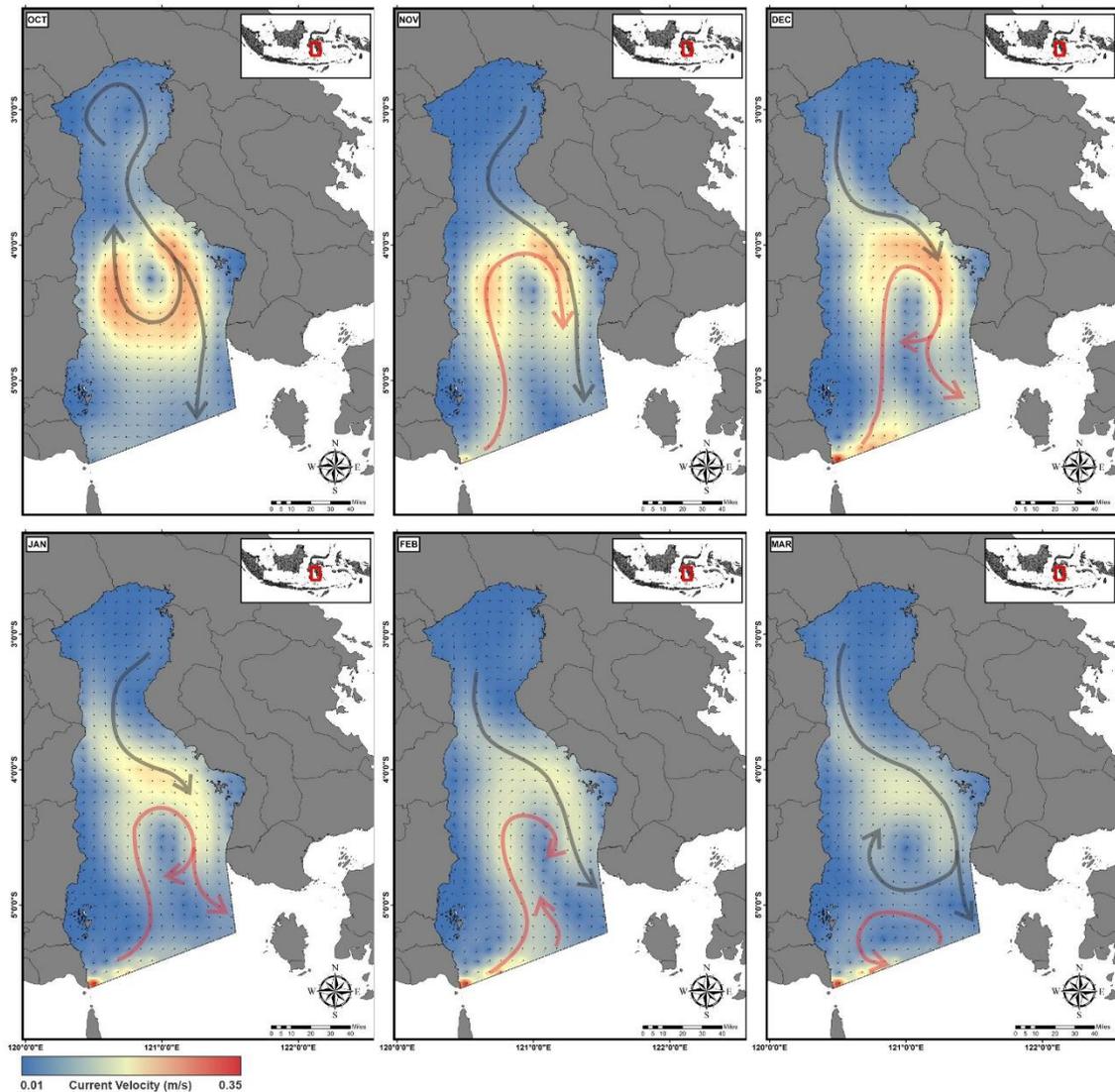
Kecepatan arus di Teluk boleh sangatlah kecil, nilai tertinggi hanya $0,35 \text{ m.det}^{-1}$ jika dibandingkan dengan perairan lain di WPP-NRI 713. Pola pergerakan arus di Teluk Bone terlihat berasal dari satu sumber yaitu perairan bagian selatan. Pada bulan April, rata-rata pola aliran arus mengarah dari utara Teluk Bone keluar ke selatan Teluk Bone beberapa area juga membuat pusaran balik ke arah utara dengan kecepatan yang relatif rendah hanya berkisar $\pm 0,1 \text{ m.det}^{-1}$ (Gambar 18). Pada bulan Agustus terjadi peningkatan kecepatan hingga $\pm 0,25 \text{ m.det}^{-1}$ dan terus meningkat pada bulan selanjutnya. Kemudian juga terlihat pada bulan Agustus intervensi aliran arus dari arah Laut Banda mulai memasuki Perairan Teluk Bone. Pada bulan Oktober (Gambar 19) terlihat adanya perubahan arah arus, dimana pada bulan sebelumnya arah arus berasal dari timur menuju ke barat, pada bulan ini arah arus berubah menjadi dari barat menuju

ke timur. Selain itu, pada bulan Oktober juga terlihat arus yang berasal dari Laut Flores mulai masuk ke perairan Teluk Bone yang langsung bergabung dengan pusaran yang terbentuk di tengah perairan Teluk Bone.



Gambar 18. Rata-rata pergerakan arus pada bulan April – September di Teluk Bone. Garis imajiner hitam merupakan arah arus yang berasal dari Teluk Bone, sedangkan merah merupakan arah arus yang berasal dari Laut Flores dan perairan di selatan Teluk Bone

Aliran arus yang masuk terlihat dibelokkan oleh aliran air yang berasal dari utara Teluk Bone sehingga membuat sebagian debit air keluar lagi ke arah Laut Banda. Peristiwa ini terjadi hingga bulan Februari dan juga terjadi penurunan kecepatan arus pada pusaran di bagian tengah Teluk Bone. Pada bulan Maret terlihat terjadi dua pusaran yang bersinggungan, yaitu pusaran yang disebabkan arus dari bagian utara Teluk Bone dan yang berasal dari Laut Flores.



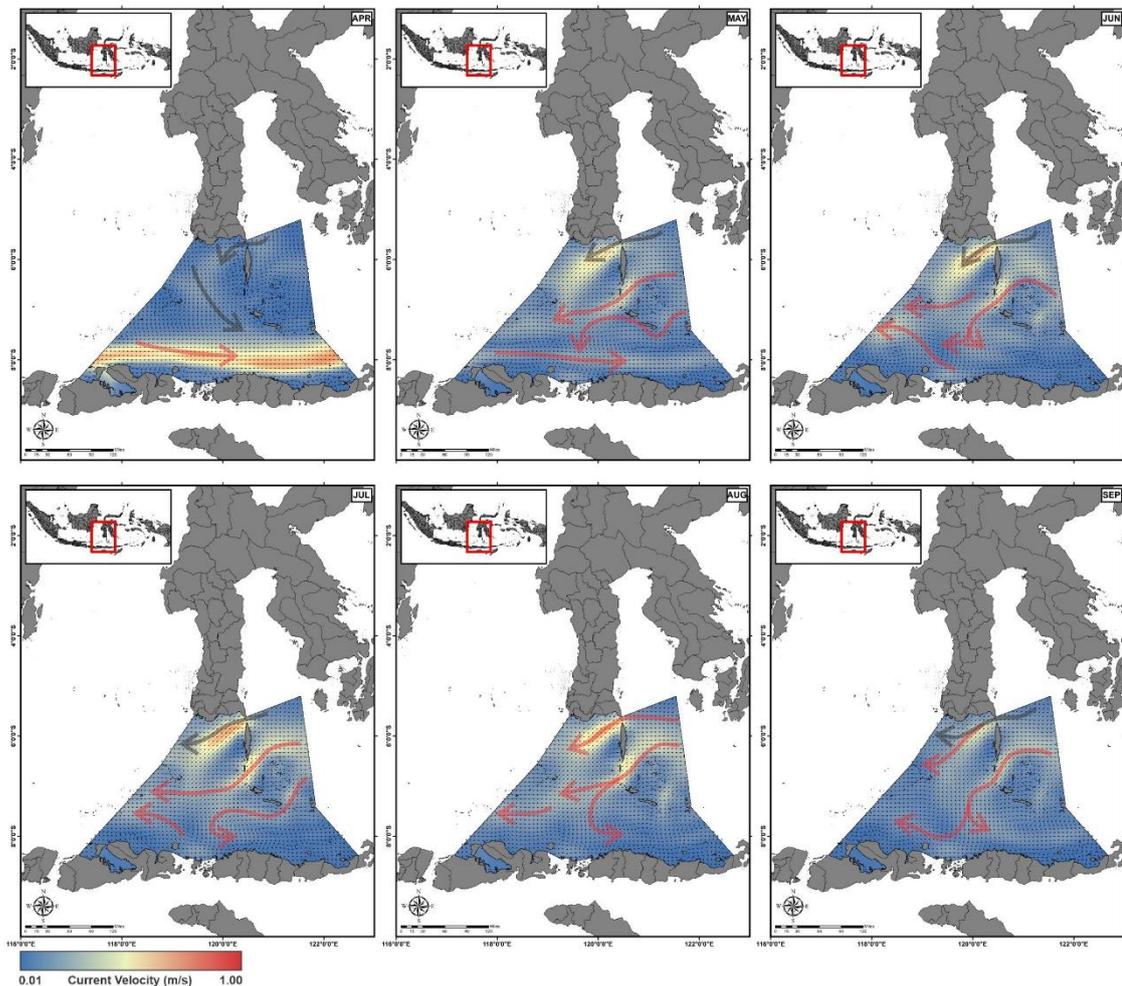
Gambar 19. Rata-rata pergerakan arus pada bulan Oktober – Maret di Teluk Bone.

3) Laut Flores

Laut Flores terletak di bagian selatan Selat Makassar dan Teluk Bone yang juga diperkirakan memiliki pengaruh atas dinamika yang terjadi pada dua perairan tersebut. Di sebelah timur Laut Flores berbatasan dengan Laut Banda, sedangkan sebelah barat berbatasan dengan Laut Bali. Laut Flores juga merupakan jembatan aliran air yang berasal dari Laut Cina Selatan menuju ke Samudra Hindia yang juga melewati Laut Jawa. Oleh karena itu, pergerakan arus di Laut Flores cenderung mengarah dari barat ke timur atau sebaliknya.

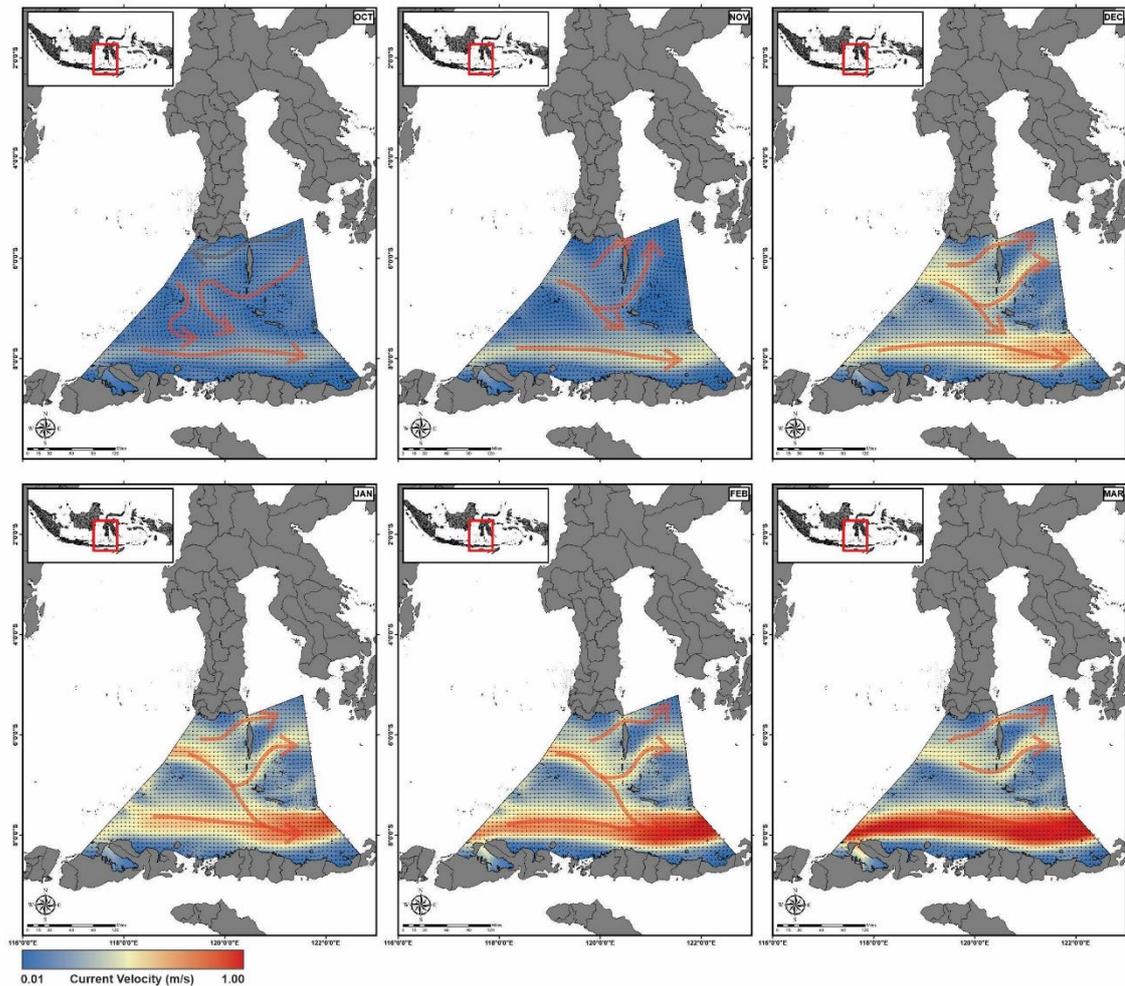
Pola arus pada bulan April (Gambar 20) terlihat ada yang berasal dari Teluk Bone, tetapi mengalami pergantian arah setelah melalui Kepulauan Selayar. Peristiwa ini terlihat mendapatkan pengaruh dari arah arus di bagian selatan Laut Flores dengan kecepatan arus yang cukup besar, yaitu $\pm 0,80 \text{ m.det}^{-1}$. Arus deras ini terlihat membuat satu garis lurus di sepanjang daratan Nusa Tenggara. Pada bulan Mei, arus deras pada

bulan April mulai meredah sehingga aliran arus dari Laut Banda dan Teluk Bone terlihat mulai mengarah ke perairan Laut Bali atau barat Laut Flores. Pada bulan Juni arah arus terlihat sudah terkonsentrasi mengarah ke barat Laut Flores, meskipun ada sebagian kecil daerah yang memperlihatkan arus yang berbeda arah. Peristiwa ini konsisten terjadi pada bulan Juni – September, tetapi kecepatan arus di bagian selatan pada bulan September mulai meningkat sekitar $\pm 0,50 \text{ m.det}^{-1}$. Peristiwa tersebut mengakibatkan sebagian arus perairan di bagian selatan Laut Flores telah mengarah ke Laut Banda.



Gambar 20. Rata-rata pergerakan arus pada bulan April – September di Laut Flores. Garis imajiner hitam merupakan arah arus yang berasal dari Teluk Bone ataupun Selat Makassar, sedangkan merah merupakan arah arus yang berasal dari Laut Bali dan Laut Banda

Pada bulan Oktober, arah arus pada sebagian besar perairan Laut Flores sudah mengarah ke timur (Gambar 21). Pada bulan November – Maret, arah arus telah searah ke Laut Banda. Kecepatan arus juga terus meningkat, bahkan Februari dan Maret kecepatan arus sudah $\pm 1,00 \text{ m.det}^{-1}$, yang berarti mencapai kecepatan tertinggi di perairan ini. Hal ini terjadi pada bagian selatan Laut Flores sepanjang perairan Nusa Tenggara.



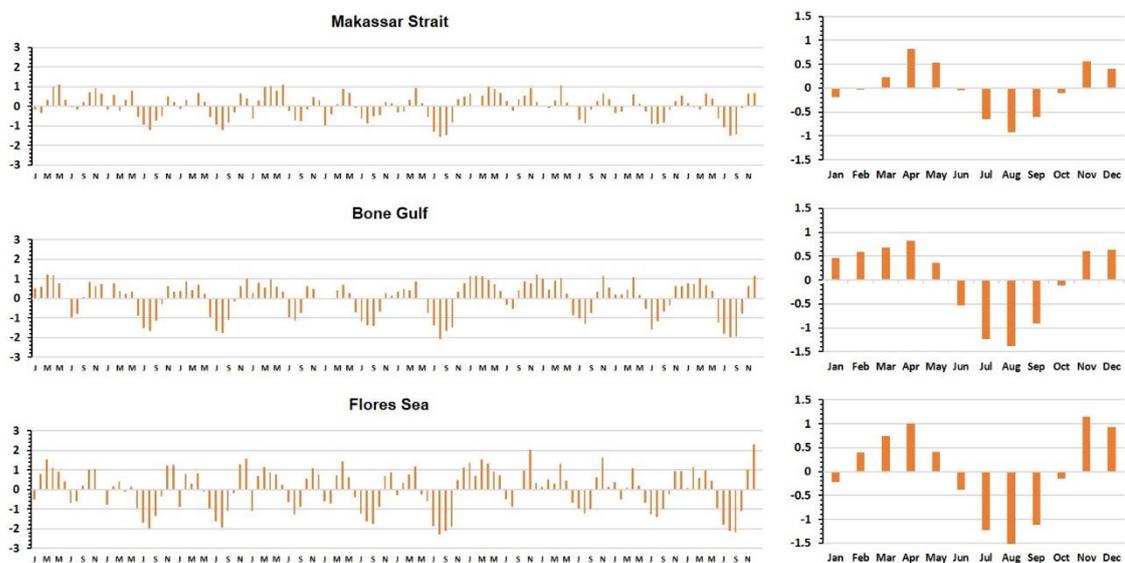
Gambar 21. Rata-rata pergerakan arus pada bulan Oktober – Maret di Laut Flores. Garis imajiner hitam merupakan arah arus yang berasal dari Teluk Bone, sedangkan merah merupakan arah arus yang berasal dari Laut Bali dan Laut Banda.

3. Variasi seasonal oseanografi temporal

Pengamatan variasi musiman parameter oseanografi ditunjukkan dengan distribusi anomali dari setiap parameter di setiap tahunnya. Rata-rata anomali parameter oseanografi membentuk pola distribusi setiap tahunnya. Parameter yang dianalisis berupa suhu permukaan laut, klorofil-a, produktivitas primer dan salinitas. Setiap parameter dianalisis menggunakan data *time series* selama 10 tahun (2010 – 2019), kecuali untuk parameter salinitas yang hanya 4 tahun (2016 – 2019).

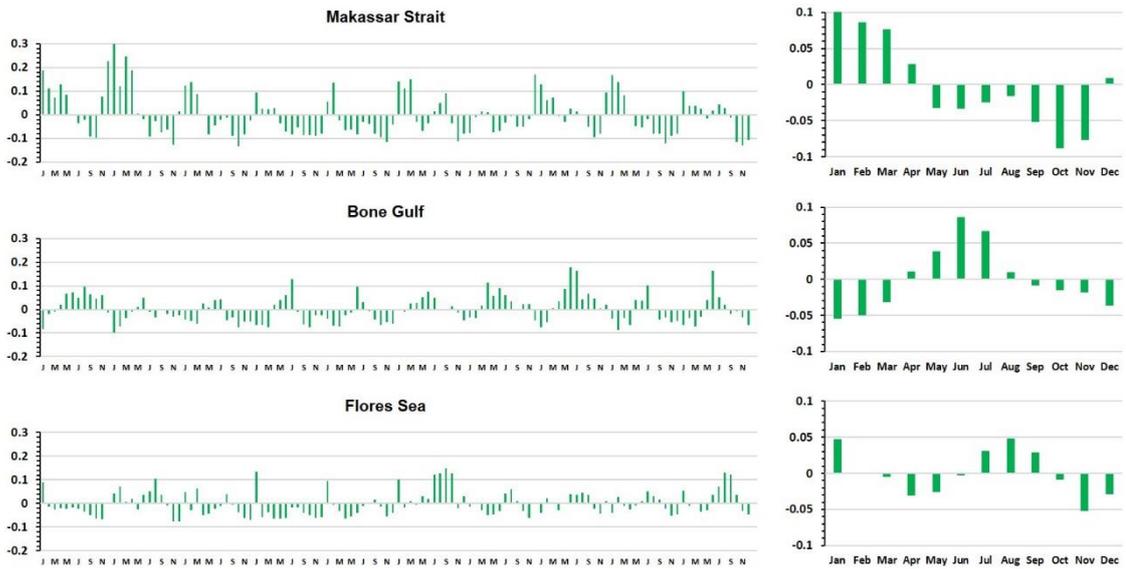
Pengamatan variasi musiman suhu permukaan laut di perairan Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores (Gambar 22) memperlihatkan karakteristik yang berbeda. Untuk perairan Selat Makassar jika dilihat mulai dari Januari, anomali negatif berangsur menjadi positif. Pada bulan Maret terlihat nilai anomali telah positif dan meningkat pada bulan April, sedangkan setelah bulan April terjadi penurunan kembali nilai anomali dengan cepat. Pada bulan Juni, anomali terlihat telah kembali negatif meskipun mendekati 0°C. Pada bulan Agustus terjadi penurunan puncak dimana nilai anomali

mendekati -1°C , kemudian kembali meningkat hingga mendapatkan puncak kedua pada bulan November dengan nilai lebih dari $0,5^{\circ}\text{C}$. Peristiwa tersebut mengakibatkan variasi musiman suhu permukaan laut di Selat Makassar secara anomali memiliki dua kali kenaikan suhu puncak, yaitu pada bulan April dan November dan penurunan puncaknya pada bulan Agustus. Puncak kenaikan kedua pada bulan November menunjukkan kenaikan yang signifikan, tidak seperti pada kenaikan atau puncak pada bulan April.



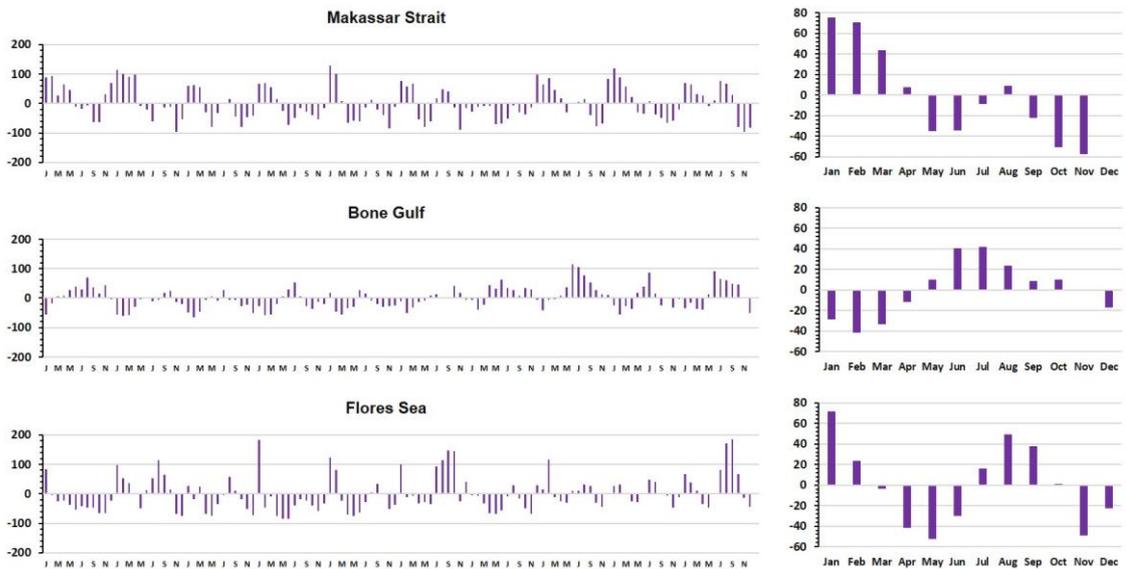
Gambar 22. Variasi musiman suhu permukaan laut berdasarkan anomali di wilayah Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores selama 10 tahun (2010 – 2019).

Variasi anomali klorofil-a pada tiga perairan (Gambar 23) memiliki perbedaan yang cukup mencolok. Terlihat bahwa anomali klorofil-a di Selat Makassar di awal tahun terjadi nilai anomali yang tinggi atau di atas 0°C hingga bulan April. Namun *trend* menurun dari Januari – April hingga mendekati garis 0°C . Pada bulan Mei terlihat nilai anomali rata-rata sebaran klorofil-a telah berada di bawah garis 0 dan tetap konsisten dibawah garis 0 hingga bulan November.



Gambar 23. Variasi musiman klorofil-a berdasarkan anomali di setiap wilayah (Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores)

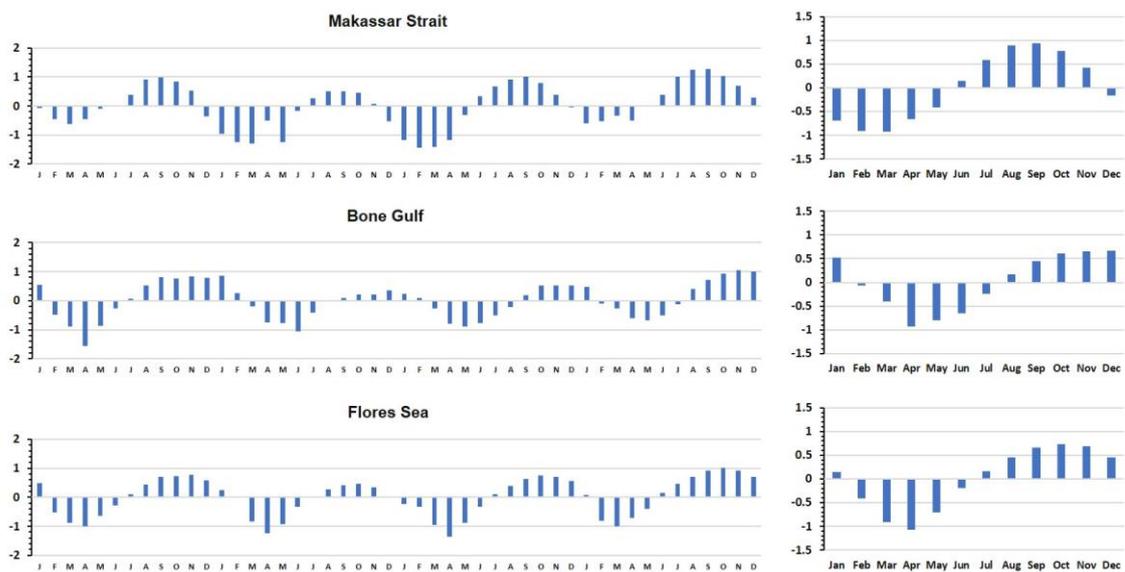
Seperti halnya variasi anomali musiman klorofil-a, produktivitas primer juga memperlihatkan perbedaan karakteristik yang mencolok pada tiga perairan di WPP-NRI 713 (Gambar 24). Pola anomali produktivitas primer di Selat Makassar terlihat serupa dengan pola anomali klorofil-a, begitupun pada perairan Teluk Bone dan Laut Flores. Hal ini dapat menjadi gambaran jika sebaran konsentrasi klorofil-a musiman kemungkinan besar memiliki kesamaan dengan produktivitas primer di lautan.



Gambar 24. Variasi musiman produktivitas primer berdasarkan anomali di setiap wilayah (Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores)

Salinitas (Gambar 25) untuk pola anomali musiman terlihat hampir sama di setiap perairan. Meskipun demikian, terlihat secara jelas ada perbedaan satu bulan pada masing–masing perairan untuk posisi *take-off* dan *take-down* dari salinitas. Seperti jika

dibandingkan dengan Selat Makassar dan Laut Flores terlihat Selat Makassar terlebih dahulu mengalami kenaikan anomali pada bulan Juni, sedangkan Laut Flores terjadi pada bulan Juli. Laut Flores dengan teluk Bone juga demikian, Laut Flores lebih dulu terjadi kenaikan anomali dari yang sebelumnya di bawah 0 kemudian pada bulan Juli berada di atas garis 0. Jika dibandingkan dengan Teluk Bone *take-off* terjadi pada bulan Agustus.



Gambar 25. Variasi musiman klorofil-a berdasarkan anomali di setiap wilayah (Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores)

D. Pembahasan

Area WPP-NRI 713 merupakan salah satu wilayah yang menjadi penghasil produk laut tertinggi di Indonesia. Menurut data yang terlampir pada KEPMEN No. 50 tahun 2017, potensi ikan pelagis besar 654,058 ton. Sedangkan setahun sebelumnya pada KEPMEN No. 47 tahun 2016 untuk semua jenis ikan, WPP-NRI 713 memiliki estimasi tangkapan sebesar 1.026,6 ton. Tentu saja jumlah dari total estimasi tangkapan dipengaruhi besar oleh variasi parameter oseanografi di lautan. Kondisi oseanografi memiliki peran penting dalam analisis distribusi dan kelimpahan sumber daya ikan. Parameter seperti suhu permukaan laut, salinitas, kecepatan arus, kedalaman, perairan, dan konsentrasi klorofil-a signifikan dalam penentuan daerah penangkapan ikan yang potensial (Zainuddin *et al.*, 2008).

Peristiwa fisik yang terjadi di perairan WPP-NRI 713 sangat dinamis (Mugo *et al.*, 2010). Perairan Selat Makassar merupakan salah satu dari empat perairan yang masuk di dalam area WPP-NRI 713. Selat Makassar memiliki keunikan perairan, dimana pada perairan ini memiliki arus lintas Indonesia yang juga dikenal secara global dengan nama *Indonesian throughflow* (ITF) (Gordon, 2005). Selain itu, perairan ini juga banyak dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa lokal seperti sistem *monsoon*, arus lintas Indonesia

(ARLINDO) dan juga peristiwa global seperti *El-Nino* dan *La-Nina* (Purba, 2007). Pola pergerakan air memengaruhi pergerakan variabel oseanografi di perairan, seperti suhu permukaan laut dan klorofil-a (Kunarso *et al.*, 2011). Suhu permukaan laut dan klorofil-a merupakan dua parameter penting yang dapat digunakan dalam meningkatkan produksi perikanan tangkap. Suhu permukaan laut erat kaitannya dengan peristiwa *upwelling*, *downwelling*, dan *front* yang biasanya menjadi indikator dalam mendeteksi keberadaan ikan jenis tuna (Lehodey *et al.*, 2006). Sedangkan klorofil-a merupakan indikator tingkat kesuburan perairan yang tentu saja berkaitan dengan kasus predasi yang terjadi di perairan (Kunarso *et al.*, 2011; Safruddin *et al.*, 2018; Hidayat *et al.*, 2019a).

Variasi bulanan parameter oseanografi sangatlah penting untuk diketahui. Selain berkaitan dengan variabel waktu, hal ini juga berkaitan dengan lokasi atau karakteristik perairan secara spasial. Penelitian ini melibatkan tiga perairan utama di WPP-NRI 713, yaitu Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores. Secara spasial, ketiga perairan ini bisa saja berbeda. Penelitian ini memperlihatkan jika ada perbedaan pola variasi setiap parameter oseanografi dari perairan ini. Penelitian ini mempertimbangkan nilai rata-rata semua variabel. Misalnya untuk suhu permukaan laut dari tahun 2010 – 2019, rentang rata-rata suhu di Selat Makassar berkisar antara 28,23 – 30,89°C, sedangkan untuk Teluk Bone dan Laut Flores berkisar antara 28,25 – 31,56°C dan 27,08 – 31,67°C dengan fluktuasi nilai suhu rata-rata akan berbeda di setiap bulannya. Hal ini juga dapat dilihat pada parameter klorofil-a di Selat Makassar berkisar antara 0,22 – 0,57 mg m⁻³, sedangkan Teluk Bone dan Laut Flores 0,20 – 0,45 mg m⁻³ dan 0,15 – 0,37 mg m⁻³. Variasi pola suhu dan klorofil-a banyak mendapatkan pengaruh dari pola musim pada saat terjadinya ENSO yang menyebabkan fenomena *upwelling* (Nababan *et al.*, 2016). *El-Nino* yang kuat yang bersamaan dengan IOD+ dapat menyebabkan peningkatan klorofil-a yang juga disertai dengan menurunnya suhu permukaan laut, dan sebaliknya apabila *La-Nina* kuat yang diiringi dengan terjadinya IOD- maka akan mengakibatkan suhu permukaan laut meningkat dan konsentrasi klorofil-a menurun (Wijaya *et al.*, 2020). Penelitian ini juga memperlihatkan hasil yang sejalan, dimana kenaikan suhu selalu dibarengi dengan penurunan konsentrasi klorofil-a. Begitupun yang terjadi pada saat klorofil-a meningkat maka suhu mengalami penurunan.

Berdasarkan pola arus, perairan Selat Makassar sepanjang tahun dipengaruhi oleh aliran air yang berasal dari Samudra Pasifik. Meski demikian, pada bulan – bulan tertentu juga didapatkan beberapa pengaruh dari Laut Flores (bulan Mei – Agustus) dan dari Laut Jawa (bulan November – Maret) yang merupakan aliran arus dari Laut Cina Selatan (Fan *et al.*, 2013). Untuk perairan Teluk Bone terlihat jika pola arus sangat tenang, hal ini terlihat dari kecepatan arus yang sangat kecil. Kecepatan tertinggi arus

di Teluk Bone hanya sebesar $0,35 \text{ m.det}^{-1}$, ini sangat kecil jika dibandingkan kecepatan arus yang terjadi di perairan lain di WPP-NRI 713. Aliran arus cenderung bertahan di dalam teluk, pada bulan April misalnya terlihat terjadi pusaran yang tidak begitu deras sehingga dapat dilihat jika dari pola arus dari bagian utara Teluk Bone keluar ke Laut Flores hanya dengan kecepatan $\pm 0,1 \text{ m.det}^{-1}$. Pada bulan selanjutnya terjadi peningkatan kecepatan sampai $\pm 0,25 \text{ m.det}^{-1}$ yang mendorong aliran air keluar ke Laut Flores. Pada bulan Agustus terlihat adanya aliran air yang masuk ke dalam Teluk Bone dengan karakteristik yang sama dengan yang terjadi di Selat Makassar. Arus ini berasal dari perairan bagian timur (Laut Flores dan Laut Banda) dibawah perairan Teluk Bone. Pada bulan Oktober terlihat pengaruh dari Laut Flores dan Laut Banda menurun sehingga pada bulan November – Februari pengaruh arus dari Laut Flores yang mengarah ke perairan timur masuk ke Teluk Bone. Arus Laut Flores terlihat memengaruhi dua perairan lain, kecepatan arus yang terjadi di Laut Flores memang sedikit lebih tinggi. Kecepatan arus di Laut Flores bahkan mencapai $\pm 1,0 \text{ m.det}^{-1}$, kemungkinan peristiwa inilah yang mengakibatkan Laut Flores dapat memengaruhi perairan lain di sekitarnya. Pada bulan Mei sampai September terlihat arus di Laut Flores sebagian besar mengarah ke arah barat (Laut Bali). Pada bulan Oktober arah arus telah mengalami sedikit perubahan, meskipun tetap ada arus yang berasal dari Laut Banda dan Teluk Bone tetap arus ini terlihat berputar dan kembali mengarah ke Laut Banda. Pada Bulan November sampai Maret terlihat jika arus mengarah tanpa hambatan ke Laut Banda. Bahkan pada bulan Maret kecepatan arus mencapai kecepatan tertinggi dengan kecepatan $\pm 1,0 \text{ m.det}^{-1}$.

Karakteristik pola arus yang terjadi memperlihatkan kecocokan dengan peristiwa *monsoon* yang terjadi di Indonesia dimana musim barat terjadi di sekitar bulan Desember sampai Februari dengan ciri arus bertiup dari barat ke timur. Sebaliknya musim timur terjadi pada bulan Juni sampai Agustus dengan ciri, arus bergerak dari timur ke barat (Daruwedho *et al.*, 2016). Begitupun dengan parameter oseanografi lainnya, variabilitas juga terjadi searah dengan peristiwa *monsoon* di Indonesia (Kunarso *et al.*, 2011).

E. Kesimpulan

Parameter oseanografi yang didapatkan dari satelit memiliki nilai korelasi yang cukup tinggi $p < 0,05$ dan nilai $r^2 > 0,7$ dan dianggap dapat mewakili parameter aktual yang terjadi di perairan. Parameter oseanografi seperti suhu permukaan laut dan klorofil memiliki hubungan negatif. Pola pergerakan arus memperlihatkan karakteristik yang mirip antara tiga perairan uji (Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores). Variasi parameter oseanografi terlihat memiliki kecocokan dengan peristiwa *monsoon* yang terjadi di Indonesia. Meski demikian nilai dan karakteristik oseanografi setiap perairan terlihat memiliki perbedaan.