

**DISERTASI**

**ANALISIS DAMPAK PERUBAHAN FAKTOR OSEANOGRAFI  
TERHADAP HASIL TANGKAPAN IKAN CAKALANG  
(*Katsuwonus pelamis*) DI WILAYAH PENGELOLAAN  
PERIKANAN NEGARA REPUBLIK INDONESIA 713**

**Analysis of Oceanographic Factors Change Impact on  
Skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) catches in the Indonesia  
Fisheries Management Area of 713**

**A RANI SAHNI PUTRI  
L013181006**



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

**ANALISIS DAMPAK PERUBAHAN FAKTOR OSEANOGRAFI  
TERHADAP HASIL TANGKAPAN IKAN CAKALANG  
(*Katsuwonus pelamis*) DI WILAYAH PENGELOLAAN  
PERIKANAN NEGARA REPUBLIK INDONESIA 713**

ANALYSIS OF OCEANOGRAPHIC FACTORS CHANGE IMPACT  
ON SKIPJACK TUNA (*Katsuwonus pelamis*) CATCHES IN THE  
INDONESIA FISHERIES MANAGEMENT AREA OF 713

Disertasi  
Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor

Program Studi  
Ilmu Perikanan

Disusun dan diajukan oleh

**A RANI SAHNI PUTRI  
L013181006**

Kepada

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

## HALAMAN PENGESAHAN DISERTASI

Judul Disertasi : Analisis dampak perubahan faktor oseanografi terhadap hasil tangkapan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) Di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 713

Nama Mahasiswa : A Rani Sahni Putri

Nomor Pokok : L013 18 1 006

Program Studi : Ilmu Perikanan

Disertasi telah diperiksa dan disetujui oleh:

Promotor,

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

Co. Promotor

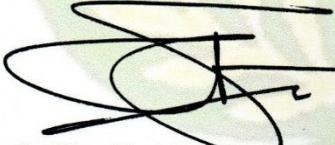
Co. Promotor

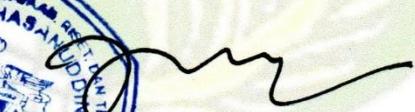
  
Prof. Dr. Ir. Musbir, M.Sc  
NIP. 19650810 198911 1 001

  
Assoc Prof. Muzznena Alam Mustapha., Ph.D  
NIP.

Ketua Program Studi  
S3 Ilmu Perikanan,

Dekan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan,

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

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



Tanggal Lulus: 21 Oktober 2021

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : A Rani Sahni Putri  
NIM : L013 18 1 006  
Program Studi : Ilmu Perikanan  
Fakultas : Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan

menyatakan bahwa disertasi dengan judul: "Analisis dampak perubahan faktor oseanografi terhadap hasil tangkapan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Wilayah Pengelolaan Perikanan-Negara Republik Indonesia 713" ini adalah karya penelitian saya sendiri dan bebas dari plagiasi. Di dalamnya 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 di kemudian hari terbukti terdapat plagiasi dalam karya ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan perundang-undangan terkait (Permendiknas No. 17, tahun 2007).

Makassar, 9 September 2021



A Rani Sahni Putri  
NIM. L013 18 1 006

## PERNYATAAN KEPEMILIKAN TULISAN

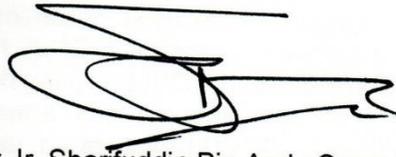
Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : A Rani Sahni Putri  
NIM : L013 18 1 006  
Program Studi : Ilmu Perikanan  
Fakultas : Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan

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 mempublikasikannya pada jurnal ilmiah yang ditentukan kemudian, sepanjang nama mahasiswa tetap diikuti.

Makassar, 9 September 2021

Mengetahui,



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

Penulis



A Rani Sahni Putri  
NIM. L013 18 1 006

## RINGKASAN

A RANI SAHNI PUTRI. L013181006. "Analisis dampak perubahan faktor oseanografi terhadap hasil tangkapan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) Di Wilayah Pengelolaan Perikanan-Negara Republik Indonesia 713". Dibimbing oleh MUKTI ZAINUDDIN, MUSBIR dan MUZZNEENA AHMAD MUSTAPHA.

Perubahan kondisi oseanografi memiliki dampak yang mendalam dan beragam pada populasi ikan laut. Tujuan penelitian ini adalah, pertama (Bab II) menganalisis dinamika spasial dan temporal perubahan kondisi oseanografi di perairan Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI) 713 yang meliputi Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores, kedua (Bab III) menganalisis dampak perubahan kondisi oseanografi terhadap tingkat kesuburan perairan di perairan WPPNRI 713, ketiga (Bab IV) menganalisis pengaruh perubahan kondisi oseanografi terhadap hasil tangkapan ikan cakalang (*K. pelamis*) di perairan WPPNRI 713, dan yang keempat (Bab V) membuat peta baru ZPPI ikan cakalang berbasis perubahan kondisi SPL akibat perubahan iklim di perairan WPPNRI 713.

Untuk menyelesaikan tujuan pertama digunakan analisis anomali, tujuan kedua dan ketiga diselesaikan dengan menggunakan analisis *Generalized Additive Model* (GAM), sedangkan tujuan keempat menggunakan metode *Empirical Cumulative Distribution Function* (ECDF) untuk memeriksa distribusi rentang SPL optimum dan penerapan model prediksi *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) untuk memprediksi perubahan kesesuaian Zona Potensial Penangkapan Ikan (ZPPI) *K. pelamis* di perairan WPPNRI 713 karena peningkatan SPL.

Hasil penelitian pada Bab II melaporkan bahwa dalam skala 15 tahun terakhir (2005-2019) telah terjadi perubahan kondisi oseanografi di perairan WPPNRI 713 baik di Selat Makassar, Teluk Bone, maupun Laut Flores. Anomali SPL terjadi pada rentang -1,68 – 1,79 °C dan anomali klorofil-a berkisar antara -0,52 – 0,58 mg/m<sup>3</sup>. Anomali SPL terendah yaitu -1,68 °C terjadi di perairan Selat Makassar bagian barat laut (118°BT dan 1°LS)) pada bulan Desember dan tertinggi tercatat mencapai 1,79 °C (di perairan Selat Makassar barat daya (117°BT dan 5°LS)). Anomali klorofil-a terendah tercatat -0,52 mg/m<sup>3</sup> di Selat Makassar bagian tenggara atau di perairan pesisir Pangkajene Kepulauan sampai Maros (116°30'BT dan 4°LS) pada bulan Maret dan anomali klorofil-a tertinggi mencapai 0,58 mg/m<sup>3</sup> terjadi di Selat Makassar bagian barat daya (117°BT dan 4°30'LS) pada bulan April. Baik anomali terendah (negatif) dan tertinggi (positif) SPL dan klorofil-a semua terjadi di Selat Makassar.

Penelitian Bab III menemukan bahwa perubahan kondisi oseanografi berpengaruh signifikan ( $P < 0,001$ ) terhadap kesuburan perairan di perairan WPPNRI 713. Kesuburan perairan menurun secara signifikan pada saat suhu menghangat yaitu dengan anomali SPL 0 – 2 °C sedangkan pada saat anomali SPL lebih rendah (anomali negatif) yaitu rentang 0 – (-1) °C kesuburan perairan meningkat. Sebaliknya anomali klorofil-a berpengaruh positif terhadap tingkat kesuburan perairan. Peningkatan klorofil-a pada 0 – 0,5 mg/m<sup>3</sup> juga meningkatkan kesuburan perairan secara signifikan. Anomali SPL memiliki korelasi negatif dan anomali klorofil-a berkorelasi positif dengan kesuburan perairan. Jika SPL semakin tinggi dari biasanya (menghangat) maka menyebabkan menurunnya kesuburan perairan, sedangkan jika terjadi peningkatan klorofil-a (anomali meningkat) menyebabkan juga peningkatan pada kadar kesuburan perairan.

Hasil analisis pada Bab IV menunjukkan bahwa perubahan kondisi oseanografi berpengaruh signifikan ( $P < 0,01$ ) terhadap hasil tangkapan di Selat Makassar dan Teluk Bone, sedangkan di Laut Flores signifikan dengan tingkat kepercayaan  $< 0,05$ . Di Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores anomali SPL berpengaruh kuat terhadap CPUE ikan cakalang berturut-turut pada rentang -0,5 – 0,5 °C, -1,0 – (-0,25) °C, dan -0,4 – 0 °C, sedangkan anomali klorofil-a berturut-turut -0,2 – 0,2 mg/m<sup>3</sup>, -0,05 – 0,05 mg/m<sup>3</sup>, dan -0,02 – 0,02 mg/m<sup>3</sup>. Anomali SPL berpengaruh negatif terhadap CPUE ikan

cakalang, sedangkan anomali klorofil-a membawa dampak positif terhadap CPUE ikan cakalang. Penelitian ini melaporkan bahwa perubahan kondisi oseanografi telah memengaruhi hasil tangkapan ikan cakalang di perairan WPPNRI 713. Secara spesifik anomali SPL berpengaruh negatif terhadap CPUE ikan cakalang. Peningkatan SPL menyebabkan hasil tangkapan ikan cakalang turun, sebaliknya penurunan SPL menyebabkan hasil tangkapan naik. Anomali klorofil-a membawa dampak positif terhadap CPUE ikan cakalang. Semakin tinggi kadar klorofil-a, hasil tangkapan juga naik sebaliknya jika konsentrasi klorofil-a turun maka hasil tangkapan juga ikut turun. Sebagian besar penurunan SPL diikuti oleh peningkatan klorofil-a selama periode penelitian.

Hasil dari pekerjaan Bab V menunjukkan bahwa peningkatan SPL memengaruhi habitat ikan cakalang melalui perubahan kesesuaian lokasi SPL optimum di Selat Makassar, Teluk Bone, maupun Laut Flores. Skenario peningkatan SPL 0,5 °C dan 1 °C membawa perubahan yang drastis pada habitat ikan cakalang, bahkan pada skenario peningkatan SPL sebesar 2 °C membuat habitat yang disukai ikan cakalang hampir tidak ditemukan sama sekali pada bulan April, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, dan November di Selat Makassar, pada bulan Januari sampai Juni dan pada bulan Oktober sampai Desember di Teluk Bone, dan pada bulan Januari sampai Mei dan bulan November sampai Desember di Laut Flores.

Sebagai kesimpulan, penelitian ini menemukan bahwa telah terjadi perubahan kondisi oseanografi di seluruh wilayah penelitian (perairan Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores). Perubahan tersebut membawa dampak yang besar terhadap kadar kesuburan perairan dan hasil tangkapan *K. pelamis* di perairan ini. Dengan terjadinya peningkatan SPL menyebabkan perubahan kesesuaian lokasi potensial penangkapan *K. pelamis* di perairan WPPNRI 713 baik secara spasial maupun temporal. Temuan ini penting dalam pengembangan keilmuan, penentuan tindakan mitigasi yang sesuai, serta dimasukkan dalam pertimbangan penentuan kebijakan pengelolaan penangkapan ikan yang bertanggung jawab.

## SUMMARY

A RANI SAHNI PUTRI. L013181006. "Analysis of oceanographic factors change impact on skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) catches in the Indonesia Fisheries Management Area of 713". Supervised by MUKTI ZAINUDDIN, MUSBIR, and MUZZNEENA AHMAD MUSTAPHA.

Changes in oceanographic conditions have profound and diverse impacts on marine fish populations. The purposes of this study were, first (Chapter II) to analyze the spatial and temporal dynamics of changes in oceanographic conditions in the waters of the Republic of Indonesia Fisheries Management Area (FMA) 713, which includes the Makassar Strait, Bone Bay, and Flores Sea, second (Chapter III) analyzed the impact of changes in oceanographic conditions on the level of water fertility in the waters of FMA 713, the third (Chapter IV) analyzed the effect of changes in oceanographic conditions on the catch of skipjack tuna (*K. pelamis*) in the waters of FMA 713, and the fourth (Chapter V) make a new potential fishing zone maps of skipjack tuna based on changes in SST conditions due to climate change in the waters of FMA 713.

To complete the first objective, anomaly analysis was used, the second and third objectives were completed using Generalized Additive Model (GAM) analysis, while the fourth objective used the Empirical Cumulative Distribution Function (ECDF) method to examine the distribution of the optimum SST range and the application of the Intergovernmental Panel on Climate Change prediction model. (IPCC) to predict changes in the suitability of the potential fishing zone of *K. pelamis* in the waters of FMA 713 due to an increase in SST.

The research results in Chapter II report that in the last 15 years (2005-2019), there has been a change in oceanographic conditions in the waters of WPPNRI 713, both in the Makassar Strait, Bone Bay, and the Flores Sea. SST anomalies occurred in the range  $-1.68 - 1.79$  °C and chlorophyll-a anomalies in the range  $-0.52 - 0.58$  mg/m<sup>3</sup>. The lowest SST anomaly of  $-1.68$  °C occurred in the waters of the northwest Makassar Strait ( $118^{\circ}\text{E}$  and  $1^{\circ}\text{S}$ ) in December, and the highest was recorded at  $1.79$  °C (in the waters of the southwest Makassar Strait ( $117^{\circ}\text{E}$  and  $5^{\circ}\text{S}$ )). Meanwhile, the lowest chlorophyll-a anomaly was recorded at  $-0.52$  mg/m<sup>3</sup> in the southeastern Makassar Strait or the coastal waters of the Pangkajenne Islands to Maros ( $116^{\circ}30'\text{E}$  and  $4^{\circ}\text{S}$ ) in March, and the highest chlorophyll-a anomaly reached  $0, 58$  mg/m<sup>3</sup> occurred in the southwest Makassar Strait ( $117^{\circ}\text{E}$  and  $4^{\circ}30'\text{S}$ ) in April. The lowest (negative) and the highest (positive) SST and chlorophyll-a anomalies all occur in the Makassar Strait.

Research Chapter III found that changes in oceanographic conditions had a significant effect ( $P < 0.001$ ) on water fertility in the waters of WPPNRI 713. The fertility of the waters decreased significantly when the temperature warmed, namely with an SST anomaly of  $0 - 2$  °C, while the SST anomaly was lower (negative anomaly) in the range of  $0 - (-1)$  °C increased water fertility. On the other hand, the chlorophyll-a anomaly has a positive effect on the fertility level of the waters. The increase in chlorophyll-a at  $0 - 0.5$  mg/m<sup>3</sup> also significantly increased water fertility. SST anomaly has a negative correlation, and chlorophyll-a anomaly has a positive correlation with water fertility. If the SST is higher than usual (warms up), it causes a decrease in water fertility. However, if there is an increase in chlorophyll-a (warming increases), it also causes an increase in water fertility levels.

The analysis results in Chapter IV show that changes in oceanographic conditions have a significant effect ( $P < 0.01$ ) on catches in the Makassar Strait and Bone Bay, while in the Flores Sea it is significant with a confidence level of  $< 0.05$ . in the Makassar Strait, Bone Bay, and the Flores Sea, SST anomalies strongly affect the CPUE of skipjack tuna in the range of  $-0.5 - 0.5$  °C,  $-1.0 - (-0.25)$  °C, and  $-0, 4 - 0$  °C. Meanwhile, the chlorophyll-a anomaly is  $-0.2 - 0.2$  mg/m<sup>3</sup>,  $-0.05 - 0.05$  mg/m<sup>3</sup>, and  $-0.02 - 0.02$  mg/m<sup>3</sup>. SST anomaly had a negative effect on the CPUE of skipjack tuna, while the chlorophyll-a anomaly had

a positive impact on the CPUE of skipjack tuna. Our study reports that changes in oceanographic conditions have affected the catch of skipjack tuna in the waters of WPPNRI 713. Specifically, the SST anomaly had a negative effect on the CPUE of skipjack tuna. An increase in SST causes skipjack catches to decrease, whereas a decrease in SST causes catches to increase. Meanwhile, the chlorophyll-a anomaly has a positive impact on the CPUE of skipjack tuna. The higher the chlorophyll-a level, the catch also increases. Otherwise, if the concentration of chlorophyll-a decreases, the catch also decreases. Most of the decrease in SPL was followed by an increase in chlorophyll-a during the study period.

Chapter V showed that the increase in SST affects skipjack habitat through changes in the suitability of the optimum SST location in the Makassar Strait, Bone Bay, and the Flores Sea. The scenario of increasing SST of 0.5 °C and 1 °C brought drastic changes to the skipjack habitat, even in the scenario of increasing SST of 2 °C, the habitat favored by skipjack was almost not found at all in April, June, July, August, September, October, and November in the Makassar Strait, from January to June and October to December in the Bone Bay, and from January to May and November to December in the Flores Sea.

In conclusion, this study found that there has been a change in oceanographic conditions throughout the study area (the waters of the Makassar Strait, Bone Bay, and Flores Sea). These changes have had a significant impact on the fertility levels of the waters and the catch of *K. pelamis* in these waters. An increase in SST caused a change in the suitability of the potential location for *K. pelamis* fishing in the waters of WPPNRI 713 both spatially and temporally. This finding is essential in scientific development, determining appropriate mitigation actions, and considering responsible fishing management policies.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbilalamin, puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan seluruh rangkaian penulisan disertasi ini. Sangat disadari bahwa tanpa pertolongan dan izin Allah SWT, penulis tidak akan mampu menyelesaikan proses penelitian hingga proses penerimaan gelar doktor.

Penelitian disertasi yang berjudul “Analisis dampak perubahan faktor oseanografi terhadap hasil tangkapan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Wilayah Pengelolaan Perikanan-Negara Republik Indonesia 713” dilaksanakan selama 4 tahun (2017-2021) di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI) 713 yaitu meliputi perairan Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores. Peneliti juga melakukan analisis sampel klorofil-a di Laboratorium Kualitas Air dan analisis data di Laboratorium Sistem Informasi Perikanan Tangkap FIKP UNHAS. Seluruh rangkaian penelitian ini didanai oleh Beasiswa Program Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) Batch-III yang diberikan oleh Kementerian Riset dan Teknologi Jenderal Pendidikan Tinggi (RISTEK DIKTI) yang saat ini berubah nama menjadi Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Riset dan Inovasi Nasional (RISTEK BRIN). Disertasi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Ilmu Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin. Disertasi ini terdiri dari beberapa bagian yang telah diterbitkan pada jurnal Internasional terindeks Scopus. Penulisan disertasi ini dapat diselesaikan dengan berbagai dinamika pasang surut yang telah dilewati penulis. Namun, semuanya tidak sebanding dengan perasaan haru dan syukur yang diterima setelah dapat menyelesaikan seluruh rangkaian Program S3 Ilmu Perikanan di Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin.

Atas semua itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus dan limpahan hormat kepada Ayahanda tercinta A Muh Ishak dan Ibunda tercinta P Rusni yang senantiasa mendukung, membimbing, dan mendoakan penulis disetiap langkah. Suami tercinta Hariadi Jufri atas dukungan, semangat, dan doa untuk penulis. Adik-adik tersayang A Rini Sahni Putri, A Riani Sahni Putri dan A Syafika Meinisha yang senantiasa menjadi penghibur dan menjadi penyemangat bagi penulis untuk menyelesaikan studi ini. Penulis juga memberikan apresiasi yang tidak ada batasnya dan menyampaikan ucapan terima kasih setinggi-tingginya kepada;

1. Beasiswa Program Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) Batch-III yang diberikan oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) atau yang sekarang namanya menjadi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan

- Teknologi Republik Indonesia (Kemdikbud) pada periode 2017-2021. Beasiswa ini menjadi tanggungan penulis dalam setiap langkah studi magister dan doktor ini.
2. Mukti Zainuddin, S.Pi., M.Sc., Ph.D sebagai pembimbing dan orang tua yang telah memberikan penulis sangat banyak pelajaran hidup yang luar biasa selama kurang lebih empat tahun ini. Tidak ada kata yang dapat penulis ungkapkan untuk menjelaskan betapa luar biasanya beliau di mata penulis. Semoga beliau selalu sehat dan dalam lindungan Allah. Aamiin.
  3. Prof. Dr. Ir. Musbir, M.Sc., terima kasih atas bimbingan, saran, dan waktu yang telah diberikan selama ini. Beliau senantiasa memudahkan setiap langkah penulis dalam proses penelitian, sehingga semuanya dapat berjalan lancar dan sesuai target.
  4. Assoc Prof. Muzznena Alam Mustapha., Ph.D, terima kasih atas atmosfer akademik berbeda yang telah diberikan kepada penulis. Bimbingan dan komentar beliau sederhana namun padat sehingga mampu memperkaya disertasi ini.
  5. Alm. Prof. Dr. Ir. Sudirman, MP., Prof. Najamuddin, M.Sc., Dr. Ir. Andi Assir Marimba, M.Sc., Dr. Ir. Abd. Rasyid Jalil, M.Si., dan Safruddin, S.Pi., MP., Ph.D., selaku penguji yang telah memberikan banyak saran dan membuat tulisan disertasi ini semakin kaya dan informatif. Serta untuk penguji eksternal Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.Pi., MT. yang telah meluangkan waktunya dan ilmu yang diberikan kepada penulis pada saat persiapan dan pelaksanaan sidang ujian.
  6. Dekan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan (Safruddin, S.Pi., MP., Ph.D), Ketua Program Studi S3 Ilmu Perikanan (Prof. Dr. Ir. Sharifuddin Bin Andy Omar, M.Sc) dan seluruh staf akademik dan non-akademik FIKP Unhas yang telah membantu dan memudahkan penulis terkait administrasi akademik.
  7. Rekan-rekan PMDSU Batch-III Unhas atas segala dukungan, doa, dan semangat yang teman-teman berikan kepada penulis.
  8. Rekan-rekan seperjuangan PSP 2011, S2 Ilmu Perikanan 2017, dan S3 Ilmu Perikanan 2018, terima kasih untuk doa dan segala bantuan yang teman-teman berikan.
  9. Bapak-bapak dan Ibu-ibu nelayan yang telah membantu dalam pengambilan data penelitian.
  10. Seluruh pihak yang Namanya tidak tercantum tetapi telah banyak membantu penulis, semoga Allah SWT membalas segala budi baiknya. Aamiin.

Alhamdulillah bagian dari disertasi ini telah diterbitkan sebanyak tiga jurnal dan empat IOP *Proceeding* dengan judul-judul yaitu "Effect of climate change on the distribution of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* catch in the Bone Gulf, Indonesia,

during the southeast monsoon”, “Application of remotely sensed satellite data to identify Skipjack Tuna distributions and abundance in the coastal waters of Bone Gulf”, “Impact of Climate Changes on Skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) catch during May-July in the Makassar Strait”, “Effect of oceanographic conditions on skipjack tuna catches from FAD versus free-swimming school fishing in the Makassar Strait”, Spatial distribution of potential fishing grounds for skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the Makassar strait, Indonesia”, “Impact of increasing sea surface temperature on skipjack tuna habitat in the Flores Sea, Indonesia”, dan “Mapping potential fishing zones for skipjack tuna in the southern Makassar Strait, Indonesia, using Pelagic Habitat Index (PHI)”.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan disertasi ini masih jauh dari kategori sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan hati dan tangan terbuka mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan tulisan ini yang akan datang. Semoga tulisan ini membawa manfaat bagi kita semua. Aamiin.

Makassar, 9 September 2021

A Rani Sahni Putri

## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul .....	ii
Halaman Pengesahan Disertasi .....	iii
Pernyataan Bebas Plagiasi .....	iv
Pernyataan Kepemilikan Tulisan .....	v
Ringkasan .....	vi
Summary .....	viii
Kata Pengantar .....	x
Daftar Isi .....	xiii
Daftar Tabel .....	xvi
Daftar Gambar .....	xvii
<b>I. Pendahuluan Umum .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penelitian .....	3
D. Kerangka Konsep Penelitian .....	4
E. Gambaran Umum Ikan Cakalang .....	5
1. Ikan cakalang ( <i>Katsuwonus pelamis</i> ) .....	5
2. Pengaruh faktor oseanografi terhadap ikan cakalang ( <i>Katsuwonus pelamis</i> ) .....	7
3. Dampak perubahan kondisi oseanografi terhadap distribusi dan kelimpahan ikan cakalang ( <i>Katsuwonus pelamis</i> ) .....	7
F. Hipotesis Penelitian .....	9
G. Kebaruan Penelitian .....	9
<b>II. Anomali Kondisi Oseanografi di Perairan WPPNRI 713 (Teluk Bone, Laut Flores, dan Selat Makassar) .....</b>	<b>11</b>
Abstrak .....	11
Abstract .....	11
A. Pendahuluan .....	11
B. Bahan dan Metode .....	13
1. Wilayah studi .....	13
2. Data .....	13
3. Analisis data .....	14
C. Hasil .....	15
1. Dinamika spasial dan temporal perubahan SPL di WPPNRI 713 selama 15 tahun terakhir (2005-2019) .....	15
2. Dinamika spasial dan temporal perubahan Klorofil-a di WPPNRI 713 selama 15 tahun terakhir (2005-2019) .....	18
D. Pembahasan .....	21
1. Dinamika spasial dan temporal perubahan SPL di WPPNRI 713 selama 15 tahun terakhir (2005-2019) .....	22
2. Dinamika spasial dan temporal perubahan Klorofil-a di WPPNRI 713 selama 15 tahun terakhir (2005-2019) .....	24
E. Kesimpulan .....	25

	Halaman
<b>III. Analisis dampak perubahan kondisi oseanografi terhadap tingkat kesuburan perairan .....</b>	<b>26</b>
Abstrak .....	26
Abstract .....	26
A. Pendahuluan .....	27
B. Bahan dan Metode .....	28
1. Area penelitian .....	28
2. Data satelit penginderaan jauh .....	28
3. <i>Generalized additive model</i> (GAM) .....	28
C. Hasil .....	29
D. Pembahasan .....	31
E. Kesimpulan .....	32
<b>IV. Analisis dampak perubahan kondisi oseanografi terhadap hasil tangkapan ikan cakalang (<i>Katsuwonus pelamis</i>) di WPPNRI 713 .....</b>	<b>33</b>
Abstrak .....	33
Abstract .....	33
A. Pendahuluan .....	34
B. Bahan dan Metode .....	35
1. Waktu dan tempat penelitian .....	35
2. Data penelitian .....	37
3. Analisis data .....	38
C. Hasil .....	38
1. Variasi spasial dan temporal CPUE ikan cakalang dan anomali perubahan kondisi oseanografi di WPPNRI 713 .....	38
2. Pengaruh perubahan kondisi oseanografi terhadap CPUE ikan cakalang .....	50
D. Pembahasan .....	53
E. Kesimpulan .....	55
<b>V. Pemetaan ZPPI ikan cakalang berbasis skenario peningkatan SPL akibat perubahan iklim di perairan WPPNRI 713 .....</b>	<b>57</b>
Abstrak .....	57
Abstract .....	57
A. Pendahuluan .....	57
B. Bahan dan Metode .....	59
1. Waktu dan lokasi penelitian .....	59
2. Data primer .....	60
3. Data sekunder .....	60
4. Empirical cumulative distribution function (ECDF) .....	60
5. Model prediksi .....	61
C. Hasil .....	62
1. Kondisi optimum SPL di Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores .....	62
2. Pemetaan spasial dan temporal SPL optimum di Selat Makassar ..	63
3. Pemetaan spasial dan temporal SPL optimum di Teluk Bone .....	64
4. Pemetaan spasial dan temporal SPL optimum di Laut Flores .....	65
5. Model prediksi berbasis skenario peningkatan SPL .....	66
D. Pembahasan .....	73
E. Kesimpulan .....	74

	<b>Halaman</b>
<b>VI. Pembahasan Umum .....</b>	<b>75</b>
<b>VII. Kesimpulan Umum dan Rekomendasi .....</b>	<b>78</b>
A. Kesimpulan Umum .....	78
B. Rekomendasi .....	78
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>79</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Nomor</b>	<b>Halaman</b>
1. Dampak perubahan iklim terhadap laut, ikan, dan ekosistem .....	8
2. Hasil tes model GAM .....	30
3. Hasil tes model GAM Selat Makassar.....	51
4. Hasil tes model GAM Teluk Bone .....	52
5. Hasil tes model GAM Laut Flores.....	53

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Kerangka konsep penelitian analisis dampak perubahan kondisi oseanografi terhadap pola distribusi, migrasi, dan kelimpahan ikan cakalang ( <i>K. pelamis</i> ) di perairan WPPNRI 713 .....	4
2. Ikan cakalang (survei lapangan di Teluk Bone tahun 2018) .....	6
3. Wilayah penelitian WPPNRI 713 meliputi Selat Makassar (area berwarna kuning), Teluk Bone (area berwarna ungu), dan Laut Flores (area berwarna hijau). Ilustrasi garis SCTF dan ITF diperoleh dari (Fan et al., 2013) .....	13
4. Dinamika spasial dan temporal anomali kondisi SPL di Selat Makassar pada bulan Januari-Desember selama 15 tahun terakhir (2005-2019) .....	16
5. Dinamika spasial dan temporal anomali kondisi SPL di Teluk Bone pada bulan Januari-Desember selama 15 tahun terakhir (2005-2019) .....	17
6. Dinamika spasial dan temporal anomali kondisi SPL di Laut Flores pada bulan Januari-Desember selama 15 tahun terakhir (2005-2019) .....	18
7. Dinamika spasial dan temporal anomali Klorofil-a di Selat Makassar pada bulan Januari-Desember selama 15 tahun terakhir (2005-2019) .....	19
8. Dinamika spasial dan temporal anomali klorofil-a di Teluk Bone pada bulan Januari-Desember selama 15 tahun terakhir (2005-2019) .....	20
9. Dinamika spasial dan temporal anomali klorofil-a di Laut Flores pada bulan Januari-Desember selama 15 tahun terakhir (2005-2019) .....	21
10. Ilustrasi fenomena IOD negatif (kiri) dan positif (kanan) diperoleh dari situs IOD JAMSTEC; <a href="http://www.jamstec.go.jp/frsgc/research/d1/iod/">http://www.jamstec.go.jp/frsgc/research/d1/iod/</a> . Anomali SPL ditandai dengan wilayah berwarna merah (anomali hangat) dan warna biru (anomali dingin). Bercak putih menunjukkan peningkatan aktivitas konveksi dan panah menunjukkan arah angin yang tidak normal selama peristiwa IOD .	23
11. Wilayah penelitian (WPPNRI 713 ditunjukkan dengan area berwarna kuning) .	28
12. Distribusi rata-rata produktivitas primer pada rentang (a) anomali SPL dan (b) anomali klorofil-a .....	29
13. Hubungan antara perubahan kondisi oseanografi (anomali SPL (a) dan anomali klorofil-a (b)) terhadap tingkat kesuburan perairan. Daerah yang diarsir dengan warna abu-abu adalah tingkat kepercayaan 95% untuk <i>spline</i> yang dihaluskan (garis hitam) yang menunjukkan hubungan masing-masing variabel dengan tingkat kesuburan perairan. Titik-titik plot berwarna hitam merupakan distribusi data kesuburan perairan. Garis putus-putus berwarna merah merupakan batas titik 0 pada sumbu y .....	30
14. Peta lokasi penelitian dan distribusi <i>fishing base</i> (ditunjukkan dengan simbol bendera merah). Wilayah Selat Makassar adalah area berwarna biru muda, wilayah Teluk Bone ditunjukkan oleh area berwarna kuning, dan wilayah Laut Flores adalah area yang berwarna hijau .....	36
15. Variabilitas temporal rata-rata hasil tangkapan pada bulan Januari-Desember 2015-2019 di Selat Makassar .....	39
16. Total CPUE ikan cakalang (ekor/ <i>setting</i> ) hubungannya dengan Anomali SPL (a) dan Anomali Klorofil-a (b) dan frekuensi penangkapan pada setiap rentang anomali SPL (c) dan anomali klorofil-a (d) di Selat Makassar .....	40

<b>Nomor</b>	<b>Halaman</b>
17. Distribusi spasial dan temporal CPUE ikan cakalang ( <i>ekor/setting</i> ) dari perikanan <i>purse seine</i> pada bulan Januari sampai Desember yang di- <i>overlay</i> terhadap anomali SPL di Selat Makassar .....	41
18. Distribusi spasial dan temporal CPUE ikan cakalang ( <i>ekor/setting</i> ) dari perikanan <i>purse seine</i> pada bulan Januari sampai Desember yang di- <i>overlay</i> terhadap anomali klorofil-a di Selat Makassar .....	42
19. Variabilitas temporal rata-rata hasil tangkapan pada bulan Januari-Desember 2015-2019 di Teluk Bone .....	43
20. Total CPUE ikan cakalang ( <i>ekor/setting</i> ) hubungannya dengan Anomali SPL (a) dan Anomali Klorofil-a (b) dan frekuensi penangkapan pada setiap rentang anomali SPL (c) dan anomali klorofil-a (d) di Teluk Bone .....	44
21. Distribusi spasial dan temporal CPUE ikan cakalang ( <i>ekor/setting</i> ) dari perikanan <i>pole and line</i> pada bulan Januari sampai Desember yang di- <i>overlay</i> terhadap anomali SPL di Teluk Bone .....	45
22. Distribusi spasial dan temporal CPUE ikan cakalang ( <i>ekor/setting</i> ) dari perikanan <i>pole and line</i> pada bulan Januari sampai Desember yang di- <i>overlay</i> terhadap anomali klorofil-a di Teluk Bone .....	46
23. Variabilitas temporal rata-rata hasil tangkapan pada bulan Januari-Desember 2015-2019 di Laut Flores .....	47
24. Total CPUE ikan cakalang ( <i>ekor/setting</i> ) hubungannya dengan Anomali SPL (a) dan Anomali Klorofil-a (b) dan frekuensi penangkapan pada setiap rentang anomali SPL (c) dan anomali klorofil-a (d) di Laut Flores .....	48
25. Distribusi spasial dan temporal CPUE ikan cakalang ( <i>ekor/setting</i> ) dari perikanan <i>pole and line</i> yang di- <i>overlay</i> terhadap anomali SPL di Laut Flores .....	49
26. Distribusi spasial dan temporal CPUE ikan cakalang ( <i>ekor/setting</i> ) dari perikanan <i>pole and line</i> yang di- <i>overlay</i> terhadap anomali klorofil-a di Laut Flores .....	50
27. Pengaruh perubahan kondisi oseanografi berupa anomali SPL (a) dan anomali klorofil-a (b) terhadap CPUE ikan cakalang di Selat Makassar. Garis putus-putus berwarna hitam menunjukkan interval kepercayaan 95%. Kepadatan relatif titik data ditunjukkan oleh titik plot pada sumbu x. Garis putus-putus berwarna merah menunjukkan batas titik nol pada sumbu y .....	51
28. Pengaruh perubahan kondisi oseanografi berupa anomali SPL (a) dan anomali klorofil-a (b) terhadap CPUE ikan cakalang di Teluk Bone. Garis putus-putus berwarna hitam menunjukkan interval kepercayaan 95%. Kepadatan relatif titik data ditunjukkan oleh titik plot pada sumbu x. Garis putus-putus berwarna merah menunjukkan batas titik nol pada sumbu y .....	52
29. Pengaruh perubahan kondisi oseanografi berupa anomali SPL (a) dan anomali klorofil-a (b) terhadap CPUE ikan cakalang di Teluk Bone. Garis putus-putus berwarna hitam menunjukkan interval kepercayaan 95%. Kepadatan relatif titik data penangkapan ditunjukkan oleh titik plot pada sumbu x. Garis putus-putus berwarna merah menunjukkan batas titik nol pada sumbu y .....	53
30. Peta lokasi penelitian Bab V. Area berwarna hijau adalah Selat Makassar, area berwarna biru adalah Teluk Bone, dan area berwarna ungu adalah Laut Flores. Simbol bendera berwarna merah adalah titik-titik <i>fishing base</i> .....	59

<b>Nomor</b>	<b>Halaman</b>
31. Model prediksi dampak perubahan iklim terhadap ikan cakalang di perairan WPPNRI 713 (dimodifikasi dari (Saitoh et al., 2011)) .....	61
32. Total CPUE ikan cakalang dalam kaitannya dengan (a) MODIS SPL di Selat Makassar, (b) MODIS SPL di Teluk Bone, dan (c) MODIS SPL di Laut Flores; frekuensi penangkapan ikan dalam kaitannya dengan (d) MODIS SPL di Selat Makassar, (e) MODIS SPL di Teluk Bone, dan (f) MODIS SPL di Laut Flores; dan frekuensi distribusi kumulatif empiris untuk (g) MODIS SPL di Selat Makassar, (h) MODIS SPL di Teluk Bone, dan (i) MODIS SPL di Laut Flores .....	62
33. Distribusi spasial distribusi SPL optimum (area berwarna hijau) di- <i>overlay</i> dengan titik penangkapan ikan cakalang (titik berwarna hitam) di Selat Makassar .....	64
34. Distribusi spasial distribusi SPL optimum (area berwarna hijau) di- <i>overlay</i> dengan titik penangkapan ikan cakalang (titik berwarna hitam) di Teluk Bone .....	65
35. Distribusi spasial distribusi SPL optimum (area berwarna hijau) di- <i>overlay</i> dengan titik penangkapan ikan cakalang (titik berwarna hitam) di Laut Flores .....	66
36. Peta habitat ikan cakalang berdasarkan tiga skenario peningkatan SPL di Selat Makassar pada saat kondisi normal (belum terjadi perubahan kondisi SPL (warna hijau tua), setelah peningkatan SPL 5 °C (warna hijau muda), 1 °C (area berwarna biru), dan 2 °C (area berwarna merah) berdasarkan skenario IPCC .....	68
37. Peta habitat ikan cakalang berdasarkan tiga skenario peningkatan SPL di Teluk Bone pada saat kondisi normal (belum terjadi perubahan kondisi SPL (are berwarna hijau tua), setelah peningkatan SPL 5 °C (warna hijau muda), 1 °C (area berwarna biru), dan 2 °C (area berwarna merah) berdasarkan skenario IPCC .....	70
38. Peta habitat ikan cakalang berdasarkan tiga skenario peningkatan SPL di Laut Flores pada saat kondisi normal (belum terjadi perubahan kondisi SPL (are berwarna hijau tua), setelah peningkatan SPL 5 °C (warna hijau muda), 1 °C (area berwarna biru), dan 2 °C (area berwarna merah) berdasarkan skenario IPCC .....	72

## I. Pendahuluan Umum

### A. Latar Belakang

Ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) merupakan salah satu spesies ikan tuna yang paling banyak dieksploitasi di Indonesia (McKechnie *et al.*, 2016). Pada tahun 2014 di Indonesia total tangkapan tuna mencapai 185.675 ton dan hampir setengah (sekitar 43%) dari total tangkapan tersebut adalah spesies *Katsuwonus pelamis* (Irianto *et al.*, 2015).

Laut Indonesia merupakan satu-satunya perairan lintang rendah yang dilalui *Indonesian Throughflow* (ITF) atau dikenal dengan ARLINDO (Purwandana *et al.*, 2020). ITF merupakan aliran yang menghubungkan dua samudra besar, yaitu Samudra Pasifik dan Samudra Hindia (Iwatani *et al.*, 2018; Sprintall, 2019). Samudra Pasifik terkenal dengan fenomena *El Nino* atau kenaikan suhu perairan (Lehodey *et al.*, 1997; Chanda *et al.*, 2018; Isa *et al.*, 2020), sedangkan di Samudra Hindia terjadi fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Isa *et al.*, 2020). Fenomena *El Nino* dan IOD mengatur iklim beberapa negara yang terletak di sekitar Samudra Pasifik dan Samudra Hindia (Chanda *et al.*, 2018). Salah satu perairan dengan produktivitas penangkapan tuna cakalang tertinggi di Indonesia, termasuk Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI) 713 yaitu Selat Makassar, Teluk Bone, Laut Flores dan Laut Bali. Letak perairan WPPNRI 713 berada di antara kedua samudra tersebut sehingga menjadikan perairan ini sebagai hotspot perubahan kondisi oseanografi. Perubahan faktor lingkungan ini juga akan rentan memengaruhi dinamika dan perkembangan sumber daya ikan pelagis di kawasan ini (Lehodey *et al.*, 1997; Sartimbul *et al.*, 2010; Putri *et al.*, 2018a).

Penelitian tentang dampak signifikan perubahan kondisi oseanografi dan variabilitas perubahan iklim terhadap pola distribusi ikan pelagis di seluruh dunia telah meningkat pesat dalam beberapa tahun terakhir (Perry *et al.*, 2005; Sartimbul *et al.*, 2010; Vanderwal *et al.*, 2013; Jung *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2016). Khusus untuk perairan Indonesia dan sekitarnya, Sartimbul *et al.* (2010) telah menunjukkan adanya hubungan perubahan kondisi oseanografi terhadap distribusi *Sardinella lemuru* di perairan Selat Bali yang dipengaruhi oleh anomali suhu dan klorofil-a. (Lehodey *et al.*, 1997) juga menunjukkan bahwa terjadinya peristiwa *El-Nino* dan *La-Nina* menyebabkan berubahnya pola distribusi dan kelimpahan ikan cakalang, khususnya di perairan utara Papua, sebelah barat Samudra Pasifik. Di perairan selatan Jawa, indeks variabilitas iklim (*El Nino*) ditemukan berasosiasi dengan peningkatan hasil tangkapan *bigeye tuna* (Syamsuddin *et al.*, 2016). Penelitian Muhling *et al.* (2015) juga menemukan bahwa

perubahan iklim memengaruhi distribusi spasial dan temporal ikan cakalang di Samudra Atlantik.

Berbagai indikator terjadinya perubahan iklim pada kondisi lingkungan laut yang memengaruhi distribusi dan kelimpahan ikan antara lain fenomena El Nino, La Nina dan IOD, meningkatnya suhu permukaan laut dan tinggi muka laut, perubahan spasial dan temporal hotspots (Sartimbul *et al.*, 2010; Pinsky dan Fogarty, 2012; Syamsuddin *et al.*, 2016). Peningkatan suhu laut dapat memengaruhi fisiologi dan kebiasaan berbagai jenis sumber daya ikan (Drinkwater *et al.*, 2010). (Pauly dan Cheung, 2017) memprediksi akan terjadi penyusutan ukuran tubuh ikan sebesar 14-24% di tahun 2000 hingga 2050 terutama di perairan tropis. Penyusutan ini terjadi akibat suhu perairan yang tinggi dan level oksigen terlarut yang rendah. Rata-rata suhu permukaan laut secara nyata meningkat di beberapa wilayah di dunia dan telah terbukti bahwa distribusi ikan cakalang telah mengalami pergeseran secara signifikan (Muhling *et al.*, 2015). Perubahan iklim memengaruhi distribusi ikan teri di area pesisir Chile (Silva *et al.*, 2016).

Perubahan iklim dan aktifitas manusia seperti penangkapan ikan yang berlebihan kemungkinan besar bertanggung jawab terhadap restrukturisasi cepat ekosistem laut yang sangat produktif dan pada akhirnya berefek terhadap organisme laut (Kirby *et al.*, 2009). Penelitian ini akan fokus menyoroti pengaruh abnormalitas parameter lingkungan terhadap produktivitas primer (fitoplankton), distribusi ikan (ikan permanen dan migrasi) dan kelimpahan ikan. Tingkat restrukturisasi yang telah terjadi di Laut Utara menunjukkan bahwa kita tidak mungkin membalikkan iklim saat ini. Sebaliknya kita harus memahami dan beradaptasi dengan rezim ekologi baru sehingga sudah seharusnya kebijakan pengelolaan perikanan harus sepenuhnya terintegrasi dengan konsekuensi dari perubahan iklim untuk mencegah keruntuhan serupa di ekosistem laut yang dieksploitasi di tempat lain (Kirby *et al.*, 2009) sehingga penelitian ini sangat penting untuk dilakukan.

Hasil penelitian ini diharapkan akan memperoleh peta spasial dan temporal perubahan kondisi oseanografi serta dampaknya terhadap tingkat kesuburan perairan, distribusi daerah penangkapan dan kelimpahan ikan cakalang (*K. pelamis*) serta melakukan pengembangan terhadap peta prediksi Zona Potensi Penangkapan Ikan (ZPPI) ikan cakalang dengan berbasis pada skenario perubahan iklim, sebagai rekomendasi ilmiah dalam memanfaatkan dan mengelola sumber daya ikan cakalang secara optimal dan berkelanjutan di perairan WPPNRI 713 serta sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

## **B. Rumusan Masalah**

Pola distribusi dan kelimpahan ikan tidak bergerak random melainkan dipengaruhi oleh dinamika faktor oseanografi. Ikan cakalang (*K. pelamis*) merupakan salah satu ikan pelagis dengan nilai ekonomis yang sangat tinggi. Namun dampak perubahan kondisi oseanografi mengakibatkan berubahnya pola distribusi, migrasi, dan kelimpahan ikan, khususnya ikan pelagis besar yang bermigrasi jarak jauh seperti ikan cakalang. Agar pemanfaatan sumber daya ikan cakalang (*K. pelamis*) dapat optimal dan berkelanjutan perlu dilakukan penelitian untuk memetakan perubahan kondisi oseanografi dan memprediksi Zona Potensi Penangkapan Ikan (ZPPI) cakalang berbasis skenario perubahan kondisi oseanografi tersebut.

Berdasarkan uraian di atas maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana dinamika spasial dan temporal perubahan kondisi oseanografi di perairan WPPNRI 713?
2. Bagaimana dampak perubahan kondisi oseanografi terhadap tingkat kesuburan perairan di perairan WPPNRI 713?
3. Bagaimana pengaruh perubahan kondisi oseanografi terhadap hasil tangkapan ikan cakalang (*K. pelamis*) di perairan WPPNRI 713?
4. Bagaimana peta baru ZPPI ikan cakalang berbasis perubahan kondisi SPL akibat perubahan iklim di perairan WPPNRI 713?

## **C. Tujuan Penelitian**

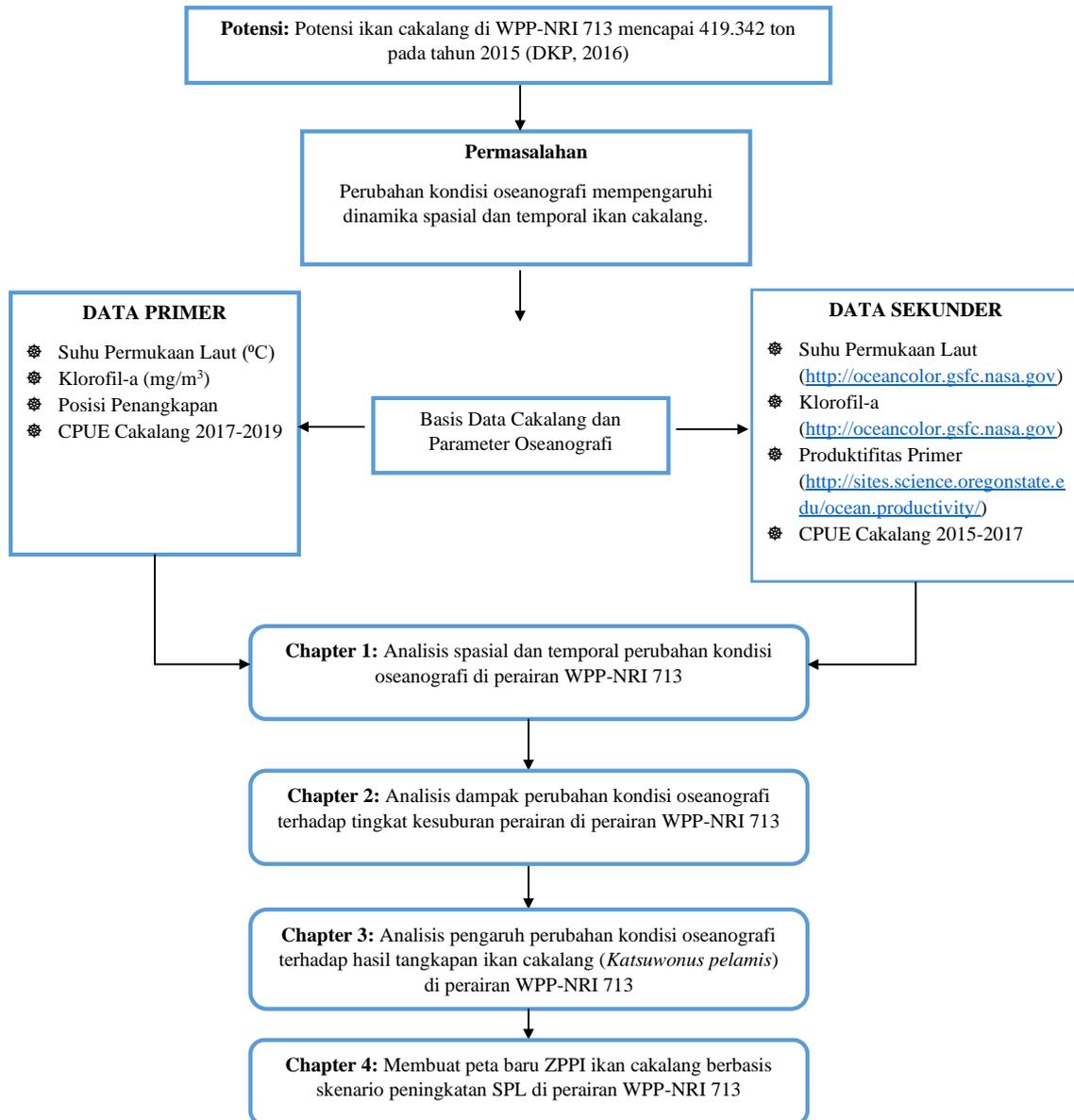
Berdasarkan rumusan masalah pada penelitian ini, maka dibentuklah beberapa tujuan penelitian:

1. Menganalisis dinamika spasial dan temporal perubahan kondisi oseanografi di perairan WPPNRI 713;
2. Menganalisis dampak perubahan kondisi oseanografi terhadap tingkat kesuburan perairan di perairan WPPNRI 713;
3. Menganalisis pengaruh perubahan kondisi oseanografi terhadap hasil tangkapan ikan cakalang (*K. pelamis*) di perairan WPPNRI 713;
4. Membuat peta baru ZPPI ikan cakalang berbasis perubahan kondisi SPL akibat perubahan iklim di perairan WPPNRI 713.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi yang bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan seperti nelayan dan industri penangkapan ikan cakalang (*K. pelamis*) untuk memberikan informasi spasial dan temporal perubahan kondisi oseanografi serta Zona Potensial Penangkapan Ikan (ZPPI) cakalang berbasis skenario perubahan kondisi oseanografi.

#### D. Kerangka Konsep Penelitian

Kerangka konsep penelitian ini disajikan pada Gambar 1. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Pengambilan data primer berupa SPL dan klorofil-a digunakan untuk memvalidasi data sekunder (satelit) SPL dan klorofil-a. Data SPL dan klorofil-a yang digunakan dalam analisis adalah data satelit.



Gambar 1. Kerangka konsep penelitian analisis dampak perubahan kondisi oseanografi terhadap pola distribusi, migrasi, dan kelimpahan ikan cakalang (*K. pelamis*) di perairan WPPNRI 713.

## E. Gambaran Umum Ikan Cakalang

### 1. Ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*)

Ikan cakalang (*K. pelamis*) atau dikenal dengan nama internasional *skipjack tuna* adalah salah satu spesies yang bernilai ekonomis penting di dunia dan menjadi target utama industri-industri penangkapan tuna di Indonesia (Putri *et al.*, 2018b; Hermida *et al.*, 2019). Bahkan dalam suatu penelitian disebutkan bahwa spesies ikan cakalang ini adalah sebuah *income breeder* (Grande *et al.*, 2016). *Income breeder* adalah suatu metode perkembangbiakan spesies hewan untuk meningkatkan produksi dan pendapatan nelayan/peternak dengan karakteristik bahwa spesies tersebut bertelur lebih besar jika makanan melimpah.

Ikan cakalang menempati urutan ketiga produksi tangkapan ikan laut tertinggi di dunia, setelah ikan teri (Engraulidae) dan ikan kod (*Theragra chalcogramma*) (Mugo *et al.*, 2010; FAO, 2016). Sekitar 70% dari jumlah tersebut yaitu sekitar 3.000.000 ton diproduksi dari perairan Samudra Pasifik (FAO, 2016; IATTC, 2016). Ikan cakalang adalah spesies ikan tuna yang paling banyak ditangkap di Samudra Pasifik pada tahun 2013 (sekitar 66% dari total penangkapan) (FAO, 2016). Angka-angka ini menunjukkan pentingnya ikan cakalang bagi sektor perikanan. Penangkapan ikan cakalang di Samudra Pasifik tersebut, wilayah penangkapan utamanya berada di perairan tropis dengan menggunakan *purse seine* atau *long line* dengan umpan hidup (Hall dan Roman, 2013; Irianto *et al.*, 2015; WCPFC, 2017; Hermida *et al.*, 2019).

Pola penyebaran dan migrasi ikan cakalang sangat luas karena merupakan perenang cepat dengan ruaya jarak jauh mulai dari perairan kepulauan hingga perairan samudra (Matsumoto *et al.*, 1984; Hall dan Roman, 2013; Hidayat *et al.*, 2019a; Venegas *et al.*, 2019). Spesies ini biasanya bergerombol membentuk *schooling* dengan ukuran tubuh yang relatif sama di sepanjang zona konvergensi (zona pertemuan antara massa air hangat yang bersalinitas rendah dengan massa air dingin yang bersalinitas tinggi), *area upwelling*, dan dekat *thermal front* mencapai kedalaman 260 m (Boehlert dan Mundy, 1994). Ikan cakalang ditemukan di perairan hangat dan di perairan yang lebih dangkal daripada jenis tuna yang lain (Hall dan Roman, 2013; Grande *et al.*, 2016; Hermida *et al.*, 2019). Musim penangkapan ikan cakalang di daerah beriklim sedang *Western and Pacific Ocean* (WPO) yaitu pada bulan Juni sampai Oktober (Ashida, 2020).

Pertumbuhan ikan cakalang paling cepat dibandingkan jenis tuna yang lain, panjangnya mencapai lebih dari 1 m dengan berat rata-rata mencapai 18 kg (Froese dan Pauly, 1994; Hall dan Roman, 2013; McKechnie *et al.*, 2016), berkembang biak lebih awal (usia saat dewasa berkisar antara 1,5 dan 4 tahun) dan berumur pendek (usia

maksimum 8 tahun) (Hall dan Roman, 2013). Jenis cakalang pertumbuhannya mengalami penyesuaian dengan habitatnya. Pada ukuran kecil ikan cakalang cenderung berkelompok atau bergerombol (*schooling*) dan terdapat pada lapisan permukaan air, kemudian semakin besar ukurannya akan bergerak ke lapisan air yang lebih dalam (*sub surface*) dan hidupnya lebih bersifat soliter. Ikan cakalang bertelur dan memijah terus menerus sepanjang tahun atau biasa dikenal dengan pemijahan berganda (*multiple spawner*) dengan fekunditas tak tentu (Andrade dan Teixeira Santos, 2004; Ashida *et al.*, 2008; Grande *et al.*, 2012).

Pada sebuah penelitian diketahui bahwa kebutuhan energi ikan cakalang rata-rata 2,2 kali lebih besar di daerah beriklim sedang dibandingkan subtropik. Ikan cakalang menghabiskan lebih sedikit energi untuk mendapatkan makanan di daerah beriklim sedang daripada di perairan subtropis karena mangsa tersedia dalam kepadatan yang lebih tinggi, sehingga energi dapat digunakan berlebih untuk pertumbuhan atau cadangan lipid (Aoki *et al.*, 2017).



Gambar 2. Ikan cakalang (survei lapangan di Teluk Bone tahun 2018)

Ikan cakalang mengadakan migrasi secara bergerombol karena mencari perairan yang kaya akan makanan, mencari tempat untuk memijah dan terjadinya perubahan beberapa faktor lingkungan perairan seperti suhu perairan, klorofil-a, salinitas dan arus laut (Mugo *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2018a). Ikan cakalang dewasa memakan ikan-ikan yang lebih kecil, crustacea, cephalopoda, dan moluska.

## **2. Pengaruh faktor oseanografi terhadap ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*)**

Dinamika spasial ikan adalah komponen yang sangat penting dalam ilmu perikanan (Wang *et al.*, 2018a). Dinamika spasial ikan baik secara horizontal maupun vertikal sangat ditentukan oleh faktor oseanografi seperti Suhu Permukaan Laut (SPL), *Sea Surface Height* (SSH), klorofil-a, kecepatan arus, salinitas, dan produktivitas primer (PP) (Sartimbul *et al.*, 2010; Sigman dan Hain, 2012; Zainuddin *et al.*, 2017; Fu *et al.*, 2018; Novianto *et al.*, 2018; Putri *et al.*, 2018a; Wang *et al.*, 2018a; Hidayat *et al.*, 2019b).

Klorofil-a merupakan faktor oseanografi yang paling berpengaruh terhadap habitat ikan cakalang (Wang *et al.*, 2018a). Klorofil digunakan sebagai tempat mencari makan untuk spesies peruyaya jauh termasuk tuna (Kiyofuji *et al.*, 2019). Klorofil-a berpengaruh signifikan terhadap kelimpahan ikan lemuru di Selat Bali (Sartimbul *et al.*, 2010).

Pergerakan ikan cakalang dipengaruhi variabilitas oseanografi skala besar (Lehodey *et al.*, 1997). Penelitian di perairan Samudra Pasifik bagian barat menemukan bahwa batas bawah toleransi fisiologis ikan cakalang terhadap suhu perairan yaitu 18°C, sedangkan batas atas diperkirakan mencapai 33°C untuk individu kecil hingga 20°C untuk ikan yang terbesar (Barkley *et al.*, 1978; Kiyofuji *et al.*, 2019). Migrasi ikan cakalang salah satunya dipengaruhi oleh batas termal bawah dan atas suhu perairan baik secara horizontal maupun vertikal (Kiyofuji *et al.*, 2019).

Pemijahan ikan cakalang bergantung pada kondisi oseanografi, kondisi ini akan memengaruhi ciri reproduksi seperti musim bertelur, *batch fecundity* (BF), dan panjang cagak pada kematangan 50%. Ikan cakalang di bagian timur Samudra Pasifik punya ukuran cagak lebih panjang daripada di daerah garis lintang yang lebih tinggi (Schaefer, 1987; Schaefer dan Fuller, 2019; Ashida, 2020).

Sebuah penelitian di daerah subtropis dan beriklim sedang di Samudra Pasifik bagian barat dilaporkan bahwa hampir semua ikan cakalang betina yang mampu bertelur muncul pada SPL >24°C, Frekuensi pemijahan *skipjack tuna* di daerah lintang tinggi lebih rendah dari daerah tropis dan subtropis disebabkan karena durasi yang lebih pendek dari kondisi laut yang menguntungkan untuk pemijahan (Ashida, 2020) dan batas atas untuk pemijahan yaitu dengan SPL 30°C (Schaefer dan Fuller, 2019).

## **3. Dampak perubahan kondisi oseanografi terhadap distribusi dan kelimpahan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*)**

Bagian sebelumnya (Bab I bagian E nomor 2) pada penelitian ini telah dibahas betapa kondisi oseanografi memainkan peranan penting pada ikan cakalang. Tentunya perubahan pada kondisi oseanografi akan membawa dampak signifikan terhadap ikan

tuna (Fromentin *et al.*, 2014) seperti ikan cakalang. Perubahan kondisi oseanografi pada suatu daerah/wilayah di perairan sebagian besar disebabkan oleh fenomena perubahan iklim. Perubahan iklim membawa dampak dalam skala global dan skala lokal, pada skala global menyebabkan terjadinya variabilitas perubahan iklim (seperti *El Nino* dan *Indian Ocean Dipole*) dan pada skala lokal menyebabkan abnormalitas parameter lingkungan termasuk kondisi oseanografi (seperti SPL, klorofil-a, kecepatan arus, salinitas, dan lain-lain) (Macfadyen, 2010; Sartimbul *et al.*, 2010; Muhling *et al.*, 2015; Syamsuddin *et al.*, 2016). Fenomena ini kemudian akan berdampak terhadap perubahan biogeokimia ekosistem laut dan tentu berdampak terhadap ikan (Polovina dan Howell, 2005; Macfadyen, 2010; Sartimbul *et al.*, 2010; Muhling *et al.*, 2015; Pauly dan Cheung, 2017; Zainuddin *et al.*, 2017; Tanner *et al.*, 2019). Pada Tabel 1 diuraikan berbagai dampak perubahan iklim terhadap laut, ikan, dan ekosistem.

Tabel 1. Dampak perubahan iklim terhadap laut, ikan, dan ekosistem (Polovina dan Howell, 2005; Macfadyen, 2010; Sartimbul *et al.*, 2010; Muhling *et al.*, 2015; Pauly dan Cheung, 2017; Zainuddin *et al.*, 2017)

<b>Perubahan biogeokimia ekosistem laut</b>	<b>Dampak terhadap ikan dan ekosistem</b>
1. Meningkatnya suhu permukaan laut (anomali)	1. Fisiologi, morfologi, serta proses pemijahan dan rekrutmen ikan
2. Salinitas	2. Memengaruhi ukuran pertama kali ikan matang gonad
3. Perubahan sirkulasi dan pola arus termasuk <i>upwelling</i>	3. Produktivitas primer ( <i>phytoplankton</i> )
4. Perubahan sifat kimia perairan	4. Produktivitas sekunder ( <i>zooplankton</i> )
5. Variabilitas iklim. Mis: El Nino	5. Distribusi ikan (ikan permanen dan migrasi)
6. Perubahan konsentrasi klorofil-a	6. Kelimpahan ikan
7. Perubahan lapisan kedalaman termoklin	7. Dampak terhadap rantai makanan

Perubahan iklim telah menjadi ancaman besar bagi sumber daya perikanan di perairan tropis. Hal ini dibuktikan dengan penelitian-penelitian sebelumnya seperti di perairan *Coral Triangle Area* (Venegas *et al.*, 2019), dan di perairan Selat Bali (Sartimbul *et al.*, 2010). Fenomena ini dapat mengakibatkan peningkatan SPL, kenaikan ketinggian permukaan laut, peningkatan stratifikasi laut yang menyebabkan penurunan pencampuran vertikal, dan pengasaman air laut (Raven *et al.*, 2005)

Peningkatan SPL yang diakibatkan oleh perubahan iklim menyebabkan penurunan habitat yang menguntungkan bagi ikan cakalang di wilayah sekitar garis ekuator (lintang rendah) (Dueri *et al.*, 2014; Venegas *et al.*, 2019) seperti Indonesia.

Penurunan stok sumber daya ikan cakalang tidak hanya diakibatkan oleh aktivitas penangkapan ikan yang tidak bertanggung jawab namun juga disebabkan oleh fenomena variabilitas perubahan iklim yaitu El Nino. El Nino memengaruhi arus, *upwelling*, konsentrasi klorofil-a, dan SPL di perairan tropis. Fenomena *El Nino* berdampak negatif terhadap ikan cakalang (Yen *et al.*, 2017). Perubahan kondisi lingkungan juga memengaruhi gametogenesis dan aktivitas pemijahan ikan melalui sumbu otak-hipofisis-gonad (Wright dan Trippel, 2009).

#### **F. Hipotesis Penelitian**

Berdasarkan uraian-uraian tersebut di atas dapat dirumuskan hipotesis penelitian sebagai berikut:

1. Telah terjadi perubahan kondisi oseanografi di perairan WPPNRI 713.
2. Perubahan kondisi oseanografi berdampak terhadap tingkat kesuburan perairan di perairan WPPNRI 713.
3. Perubahan kondisi oseanografi berpengaruh terhadap hasil tangkapan ikan cakalang (*K. pelamis*) di perairan WPPNRI 713.
4. Adanya peta baru ZPPI ikan cakalang berbasis perubahan kondisi oseanografi di perairan WPPNRI 713.

#### **G. Kebaruan (*Novelty*)**

Berdasarkan hasil penelusuran pustaka yang dilakukan penelitian tentang pengaruh kondisi oseanografi berbasis data citra satelit memang sangat berkembang dalam beberapa tahun terakhir. Dengan memahami hubungan antara pengaruh kondisi oseanografi dan spesies ikan target tangkapan maka dapat dijadikan acuan dalam mengetahui ZPPI ikan tersebut (Nurdin *et al.*, 2017).

Guna mencapai pemahaman yang lebih baik tentang efek perubahan kondisi oseanografi terhadap distribusi dan kelimpahan ikan cakalang di perairan WPPNRI 713, peneliti menggunakan metode kombinasi anomali dan *Generalized Additive Model* (GAM) kemudian melakukan pemodelan berbasis skenario perubahan iklim.

Penelitian serupa dengan berbagai metode telah banyak dilakukan belakangan ini untuk membuktikan pengaruh perubahan iklim secara khusus peningkatan SPL terhadap ikan di suatu perairan, namun belum ada yang membandingkan dampak pada perairan terbuka seperti Selat Makassar dan Laut Flores, dan perairan semi tertutup seperti Teluk Bone dan mencoba melakukan perlakuan skenario peningkatan SPL akibat perubahan iklim. Kebaruan dari penelitian ini yaitu:

- Membandingkan dampak variasi oseanografi dan iklim terhadap sumber daya ikan cakalang (*K. pelamis*) pada perairan terbuka seperti Selat Makassar dan Laut Flores dan perairan semi tertutup seperti Teluk Bone.
- Mencoba melakukan perlakuan skenario peningkatan SPL akibat perubahan iklim untuk pembuatan ZPPI ikan cakalang (*K. pelamis*).

## II. Anomali Kondisi Oseanografi di perairan WPPNRI 713 (Teluk Bone, Laut Flores, dan Selat Makassar)

### ABSTRAK

Perubahan iklim dan aktivitas antropogenik menyebabkan perubahan kondisi oseanografi. Perubahan kondisi oseanografi akan membawa dampak terhadap ikan dan ekosistemnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi perubahan kondisi oseanografi di perairan WPPNRI 713. Data inderaja bulan Januari hingga Desember tahun 2005 sampai 2019 (15 tahun terakhir) yaitu data Suhu Permukaan Laut (SPL) dan Klorofil-a MODIS *Aqua* digunakan untuk analisis anomali pada aplikasi ArcGIS 10.2. telah terjadi anomali rendah (negatif) maupun anomali tinggi (positif) di perairan WPPNRI 713 selama 15 tahun terakhir. Anomali SPL terendah yaitu  $-1,68^{\circ}\text{C}$  (di perairan Selat Makassar bagian barat laut ( $118^{\circ}\text{BT}$  dan  $1^{\circ}\text{LS}$ )) pada bulan Desember dan tertinggi tercatat mencapai  $1,79^{\circ}\text{C}$  (di perairan Selat Makassar barat daya ( $117^{\circ}\text{BT}$  dan  $5^{\circ}\text{LS}$ )), sedangkan anomali klorofil-a terendah tercatat  $-0,52\text{ mg/m}^3$  di Selat Makassar bagian tenggara atau di perairan pesisir Pangkajenne Kepulauan sampai Maros ( $116^{\circ}30'\text{BT}$  dan  $4^{\circ}\text{LS}$ ) pada bulan Maret dan anomali klorofil-a tertinggi mencapai  $0,58\text{ mg/m}^3$  terjadi di Selat Makassar bagian barat daya ( $117^{\circ}\text{BT}$  dan  $4^{\circ}30'\text{LS}$ ) pada bulan April. Kajian ini penting dalam pengembangan keilmuan, penentuan tindakan mitigasi yang sesuai, serta dimasukkan dalam pertimbangan penentuan kebijakan pengelolaan penangkapan ikan yang bertanggung jawab.

**Kata Kunci:** Anomali, SPL, Klorofil-a, Inderaja

### ABSTRACT

Climate change and anthropogenic activity cause changes in oceanographic conditions. Changes in oceanographic conditions will have an impact on fish and their ecosystems. This study aimed to identify changes in oceanographic conditions in the waters of Fisheries Management Area (FMA) 713. Remote sensing data from January to December 2005 and 2019 (the last 15 years), namely Sea Surface Temperature (SST) and Chlorophyll-a MODIS *Aqua* data, were used for anomaly analysis on the ArcGIS 10.2 application. There have been low (negative) and high (positive) anomalies in the waters of FMA 713 for the last 15 years. The lowest SST anomaly was  $-1.68^{\circ}\text{C}$  (in the waters of the northwest Makassar Strait ( $118^{\circ}\text{E}$  and  $1^{\circ}\text{S}$ )) in December, and the highest was recorded at  $1.79^{\circ}\text{C}$  (in the waters of the southwest Makassar Strait ( $117^{\circ}\text{E}$  and  $5^{\circ}\text{S}$ )). Meanwhile, the lowest chlorophyll-a anomaly was recorded  $-0.52\text{ mg/m}^3$  in the southeastern Makassar Strait or the coastal waters of the Pangkajenne Islands to Maros ( $116^{\circ}30'\text{E}$  and  $4^{\circ}\text{S}$ ) in March, and the highest chlorophyll-a anomaly reached  $0.58\text{ mg/m}^3$  occurred in the southwest Makassar Strait ( $117^{\circ}\text{E}$  and  $4^{\circ}30'\text{S}$ ) in April. This study is important in scientific development, determining appropriate mitigation actions, and determining responsible fishing management policies.

**Keywords:** Anomaly, SST, Chlorophyll-a, Remote Sensing

#### A. Pendahuluan

Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI) 713 yang termasuk di dalamnya adalah perairan Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores adalah salah satu perairan dengan produktivitas penangkapan ikan yang tinggi di Indonesia (Zainuddin *et al.*, 2017, 2019a; Putri *et al.*, 2018a; Hidayat *et al.*, 2019b). Hal

ini harus terus dijaga mengingat sektor perikanan adalah salah satu sumber pendapatan dan pangan terbesar untuk masyarakat di seluruh dunia. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa ikan dan makanan laut memiliki dampak yang besar terhadap pasokan makanan global. Ikan dan produk makanan laut merupakan salah satu makanan hewani akuatik terbaik dari sudut pandang nutrisi (Tacon dan Metian, 2013; FAO, 2016). Ikan memiliki nilai gizi tinggi, mengandung sejumlah protein, lipid, serta mineral dan vitamin penting yang sangat bermanfaat (Sampels, 2014). Namun ancaman perubahan iklim menjadi tantangan yang serius bagi pengembangan sektor ini (Perry *et al.*, 2005; Putri *et al.*, 2018a).

Perubahan iklim dan aktivitas antropogenik menyebabkan perubahan kondisi oseanografi (anomali kondisi oseanografi) (Macfadyen, 2010; Audzijonyte *et al.*, 2013). Anomali kondisi oseanografi adalah suatu keadaan dimana terjadi ketidaksesuaian kondisi oseanografi dari keadaan normal atau biasanya. Kondisi ini membawa dampak yang besar terhadap ikan dan ekosistemnya (Macfadyen, 2010; Tanner *et al.*, 2019). Potensi daerah penangkapan ikan selalu berubah dan bergerak sesuai dengan faktor lingkungan. Ikan akan memilih habitat yang lebih sesuai untuk mencari makan, berlindung, bereproduksi dan bermigrasi (Palacios *et al.*, 2006)

Penelitian sebelumnya mempelajari bahwa perubahan kondisi oseanografi menyebabkan penurunan ukuran panjang tubuh ikan (Cheung *et al.*, 2012; Audzijonyte *et al.*, 2013), menyusutnya hasil tangkapan ikan (Audzijonyte *et al.*, 2013), memengaruhi pola distribusi dan kelimpahan ikan (Attrill dan Power, 2002; Zainuddin *et al.*, 2017; Novianto *et al.*, 2018), dan berpotensi mengakibatkan kepunahan yang meluas dimana kemampuan penyebaran terbatas atau habitat yang sesuai tidak tersedia (Ottersen *et al.*, 2001).

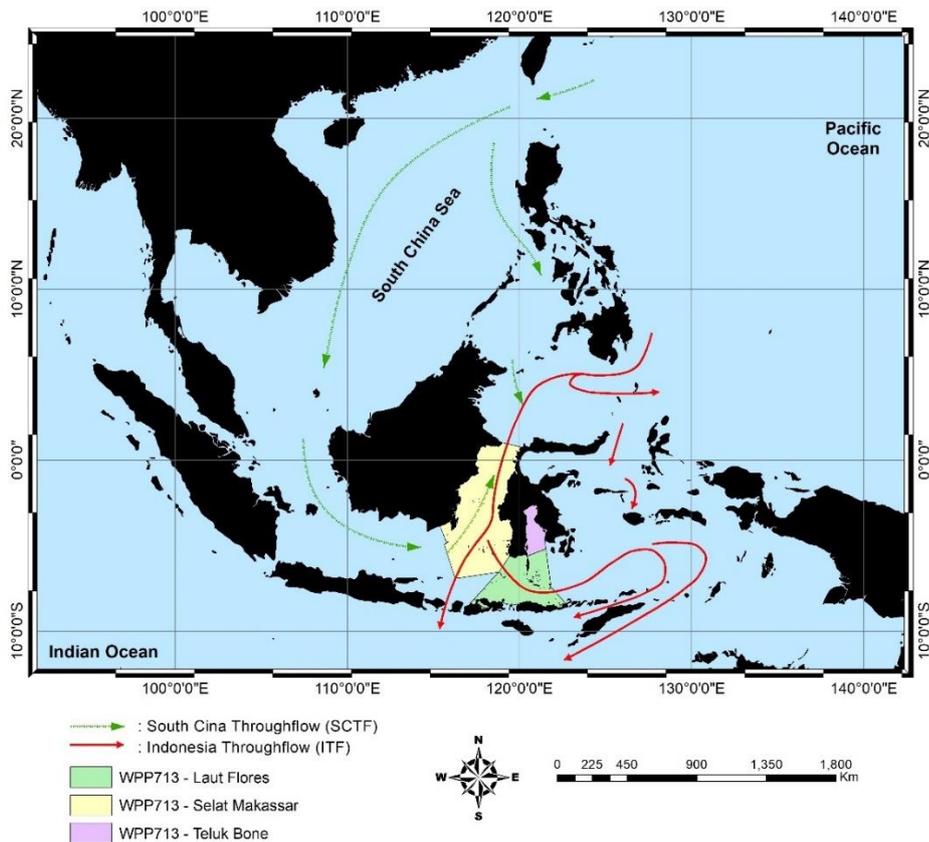
Ketiga perairan tersebut (Teluk Bone, Laut Flores, dan Selat Makassar) tentunya memiliki perbedaan keadaan karena jenisnya yang berbeda. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (2021), teluk adalah bagian laut yang menjorok masuk ke daratan, Laut adalah kumpulan air asin (dalam jumlah yang banyak dan luas) yang menggenangi dan membagi daratan atas benua atau pulau, sedangkan selat adalah laut sempit yang diapit oleh dua pulau atau lebih.

Pengetahuan tentang perubahan kondisi oseanografi sangat penting dipelajari sehingga dapat dijadikan pengetahuan oleh nelayan dan pemangku kepentingan (*stakeholder*) dalam operasi penangkapan ikan. Juga dapat digunakan peneliti dalam pengembangan keilmuan, dapat ditentukan tindakan mitigasi yang sesuai untuk diterapkan, serta dimasukkan dalam pertimbangan penentuan kebijakan pengelolaan penangkapan ikan yang bertanggung jawab ke depannya.

## B. Bahan dan Metode

### 1. Wilayah studi

Wilayah penelitian ini yaitu perairan WPPNRI 713 yaitu meliputi Selat Makassar, Teluk Bone, dan Laut Flores (Gambar 3). WPPNRI 713, sebagai salah satu perairan unik Indonesia, merupakan jalur utama *Indonesian throughflow* (ITF) atau biasa juga disebut dengan Arus lintas Indonesia (ARLINDO) dan dilewati oleh *South China Throughflow* (SCTF) yang menghubungkan Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Massa air yang dibawa oleh ITF dan SCTF berpengaruh signifikan terhadap karakteristik oseanografi perairan yang dilaluinya (Fan *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2018).



Gambar 3. Wilayah penelitian WPPNRI 713 meliputi Selat Makassar (area berwarna kuning), Teluk Bone (area berwarna ungu), dan Laut Flores (area berwarna hijau). Ilustrasi garis SCTF dan ITF diperoleh dari Fan *et al.* (2013).

### 2. Data

Variabel oseanografi bulanan yang diambil dari data penginderaan jarak jauh dari bulan Januari hingga Desember pada tahun 2005 dan 2019 (15 tahun terakhir) yaitu data Suhu Permukaan Laut (SPL) dan Klorofil-a. Data bulanan SPL dan Klorofil-a *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) *Aqua Standard Mapped Images* (SMI), dengan resolusi spasial sekitar  $4 \times 4$  km, diunduh dari Ocean Color (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>). Data bulanan memang masih populer digunakan pada

penelitian ini (Palacios *et al.*, 2006; Sartimbul *et al.*, 2010; Syamsuddin *et al.*, 2016; Zainuddin *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2018b; Avila-Alonso *et al.*, 2020). Data bulanan merupakan data kompilasi senilai satu bulan kalender, ini akan menjadi selama 28, 29, 30, atau 31 hari tergantung pada bulannya. Data bulanan mengisi data harian yang banyak celah (kosong) yang terjadi secara alami (disebabkan oleh misalnya awan, kilau matahari, celah antarorbit, es, cahaya redup, dan lain-lain) (Feldman, 2021).

### 3. Analisis data

Data bulanan SPL dan klorofil-a selama 15 tahun terakhir (2005-2019) dianalisis dengan tahapan sebagai berikut:

#### a. Potong Data (*Cropping*)

Data oseanografi SPL dan klorofil-a bulanan format NC file (.nc) dipotong masing-masing sesuai wilayah studi menggunakan perangkat lunak SeaWiFS *Data Analysis System* (SeaDAS) versi 7.5.3 (NASA, Greenbelt, MD, USA). Selanjutnya, data disimpan dalam format text document (.txt).

#### b. Interpolasi Data

Data *cropping* SPL dan klorofil-a yang dalam format text document (.txt) kemudian diubah menjadi format Microsoft excel comma separated values file (.csv), lalu diinput ke aplikasi ArcGIS 10.2 (ESRI, Redlands, CA, USA). Data ini kemudian diinterpolasi sehingga menjadi data raster (gambar). Interpolasi adalah suatu metode atau fungsi matematika yang menduga nilai pada lokasi-lokasi yang datanya tidak tersedia (Anderson, 2002).

Proses interpolasi data ini menggunakan metode *Interpolasi Inverse Distance Weighted* (IDW). Metode IDW lebih akurat dalam mengestimasi nilai yang dekat dengan sampel yang tersedia (Aswant, 2016). Kelebihan dari metode IDW adalah karakteristik interpolasi dapat dikontrol dengan membatasi titik-titik masukan yang digunakan dalam proses interpolasi. Adapun formulanya adalah sebagai berikut (Paramasivam dan 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  $Z_i$  adalah nilai dari titik yang diketahui (diberi atribut numerik),  $d_i^p$  adalah jarak ke titik yang diketahui,  $Z_p$  adalah titik yang tidak diketahui (angka yang dikaitkan untuk diinterpolasi),  $n$  adalah jumlah pengamatan, dan  $p$  adalah eksponen yang dipilih pengguna (pangkat jarak).

### c. Analisis anomali

Data raster yang dihasilkan dari proses interpolasi diolah dengan analisis anomali. Metode anomali digunakan untuk mengetahui adanya perubahan kondisi oseanografi selama 15 tahun terakhir yaitu tahun 2005-2019. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan rumus anomali pada Perangkat Lunak ArcGIS 10.5 sebagai berikut (Putri *et al.*, 2018a):

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

Dimana  $\delta_{ij}$  adalah anomali faktor oseanografi (SPL atau klorofil-a) pada bulan  $i$  dan tahun  $j$ ,  $\bar{T}_{ij}$  adalah rata-rata faktor oseanografi (SPL atau klorofil-a) pada bulan  $i$  dan tahun  $j$ , dan  $\bar{T}_i$  adalah faktor oseanografi (SPL atau klorofil-a) pada bulan  $i$ .

Hasil dari analisis anomali akan diketahui apakah pada wilayah perairan tersebut lebih rendah dari biasanya (anomali negatif) atau lebih tinggi dari biasanya (anomali positif).

## C. Hasil

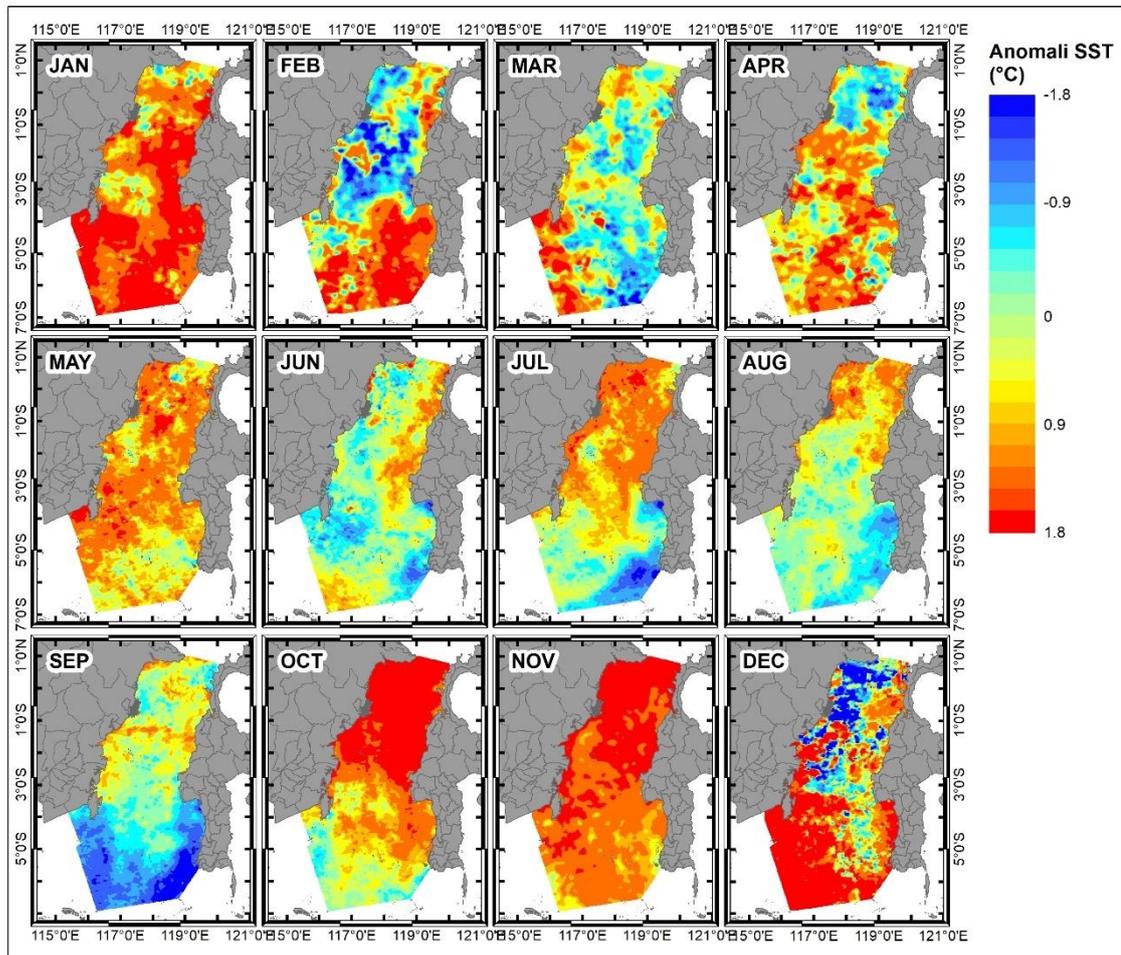
Hasil analisis anomali menjelaskan secara spasial dan temporal perubahan kondisi oseanografi di wilayah studi (Putri *et al.*, 2018a, 2021a). Adapun uraiannya adalah sebagai berikut.

### 1. Dinamika spasial dan temporal perubahan SPL di WPPNRI 713 selama 15 tahun terakhir (2005-2019)

SPL merupakan variabel fundamental yang memengaruhi dinamika spasial dan temporal ikan di laut. SPL dapat digunakan untuk memprediksi keberadaan organisme di perairan khususnya ikan (Nontji, 2005). SPL memengaruhi fungsi fisiologis hewan air (Muhling *et al.*, 2015; Pauly dan Cheung, 2017), seperti memengaruhi kemampuan berenang (Dizon *et al.*, 1977), aktivitas pemijahan (Medina *et al.*, 2002), dan pertumbuhan larva (García *et al.*, 2013). Secara tidak langsung, SPL juga dapat mendorong pola migrasi (Fromentin *et al.*, 2014), dan dinamika spesies mangsa (Trenkel *et al.*, 2014).

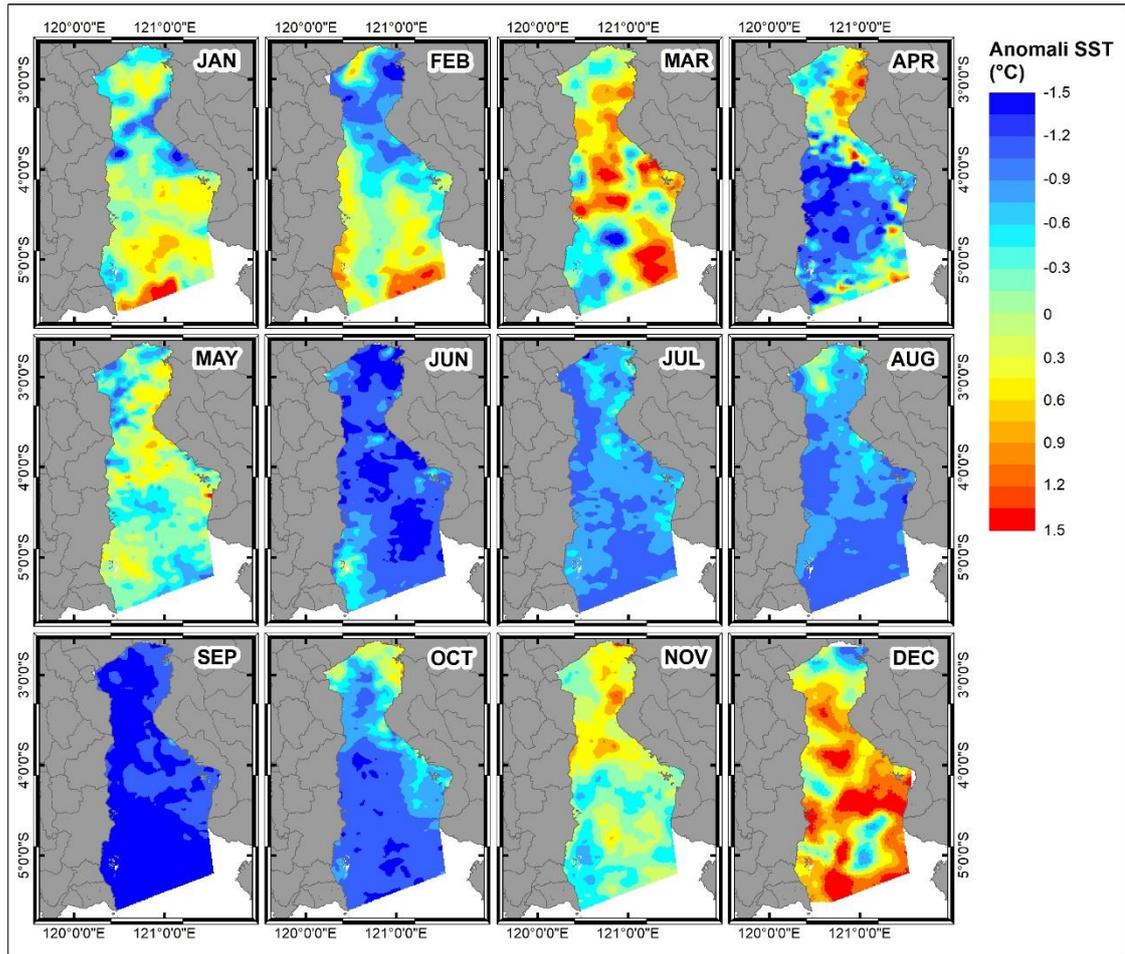
Penelitian-penelitian terbaru melaporkan bahwa telah terjadi peningkatan SPL secara global (Deser *et al.*, 2010; Muhling *et al.*, 2015; Kelly *et al.*, 2016; Yu dan Chen, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini mencoba menganalisis anomali SPL pada masing-masing perairan di Teluk Bone, Selat Makassar, dan Laut Flores. Mengingat tipe perairan ini berbeda sehingga dilakukan analisis per bagian perairan untuk melihat perubahan kondisi pada masing-masing perairan.

Anomali SPL di Selat Makassar selama 15 tahun terakhir (2005-2019) telah diselidiki (Gambar 4). Penelitian ini mencatat anomali terjadi pada rentang  $-1,68 - 1,79^{\circ}\text{C}$ . Anomali terendah ( $-1,68^{\circ}\text{C}$ ) dan tertinggi ( $1,79^{\circ}\text{C}$ ) terjadi pada bulan Desember berturut-turut di wilayah perairan Selat Makassar bagian barat laut ( $118^{\circ}\text{BT}$  dan  $1^{\circ}\text{LS}$ ) dan barat daya ( $117^{\circ}\text{BT}$  dan  $5^{\circ}\text{LS}$ ), sepanjang wilayah pesisir pantai Sulawesi Selatan juga mengalami anomali positif. Hampir sepanjang tahun terjadi anomali positif di wilayah Selat Makassar.



Gambar 4. Dinamika spasial dan temporal anomali kondisi SPL di Selat Makassar pada bulan Januari-Desember selama 15 tahun terakhir (2005-2019)

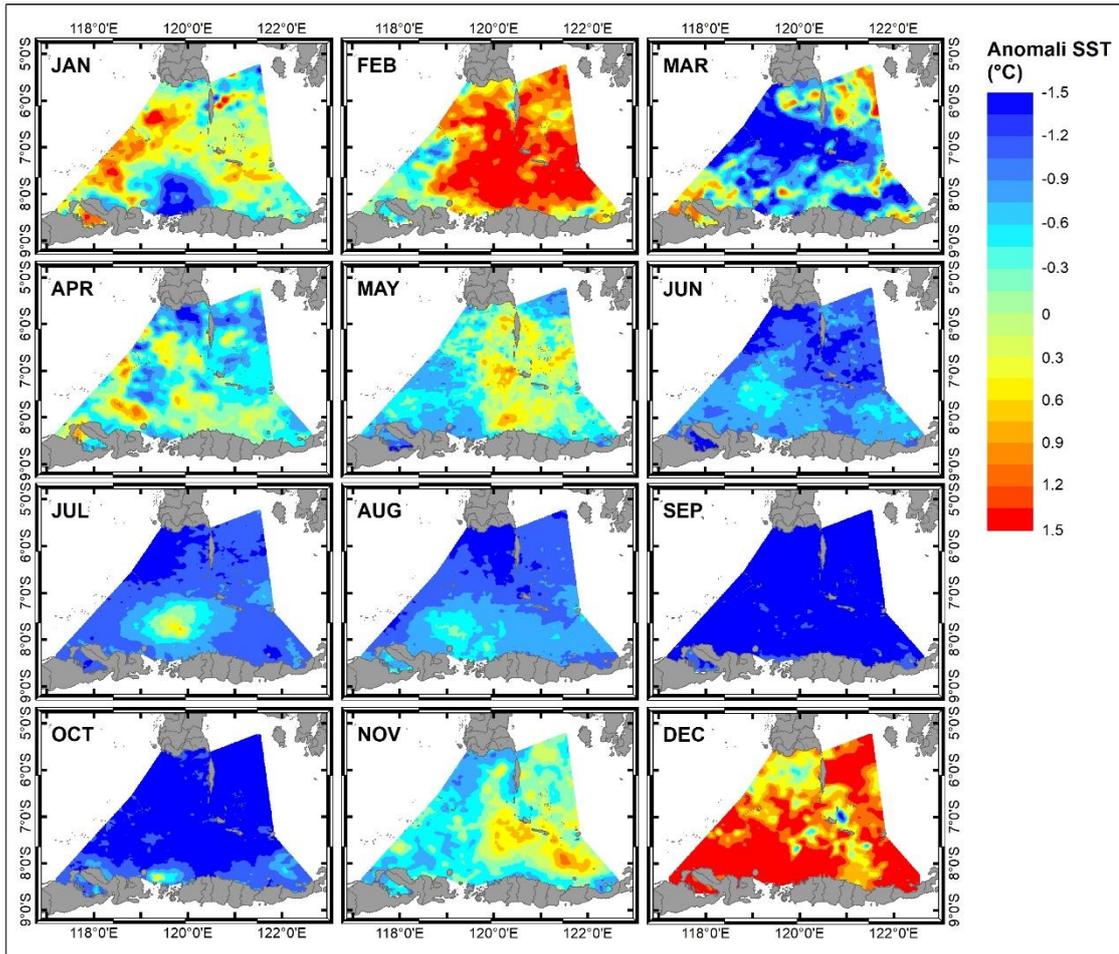
Gambar 5 menunjukkan dinamika spasial dan temporal anomali SPL di wilayah Teluk Bone selama 15 tahun terakhir (2005-2019). Anomali terendah tercatat  $-1,38^{\circ}\text{C}$  terjadi pada bulan April di perairan Teluk Bone bagian tengah ( $121^{\circ}\text{BT}$  dan  $4^{\circ}\text{LS}$ ) dan anomali tertinggi tercatat  $1,4^{\circ}\text{C}$  terjadi pada bulan Desember di perairan Teluk Bone bagian selatan ( $121^{\circ}\text{BT}$  dan  $5^{\circ}\text{LS}$ ).



Gambar 5. Dinamika spasial dan temporal anomali kondisi SPL di Teluk Bone pada bulan Januari-Desember selama 15 tahun terakhir (2005-2019)

Berbeda dengan perairan Selat Makassar, di perairan Teluk Bone terlihat dominan dengan anomali negatif, meskipun masih terjadi anomali positif pada bulan November hingga Mei. Pada bulan Juni sampai Oktober memang dominan anomali negatif.

Hasil analisis anomali di wilayah perairan Laut Flores terlihat bahwa anomali negatif dan anomali positif juga terjadi (Gambar 6). Anomali terendah mencapai  $-1,47^{\circ}\text{C}$  terjadi pada bulan September di perairan Laut Flores persis di perairan pantai Jeneponto ( $119^{\circ}30'\text{BT}$  dan  $5^{\circ}30'\text{LS}$ ) sedangkan anomali tertinggi mencapai  $1,49^{\circ}\text{C}$  terjadi pada bulan Desember di perairan Laut Flores bagian selatan ( $119^{\circ}30'\text{BT}$  dan  $8^{\circ}\text{LS}$ ).

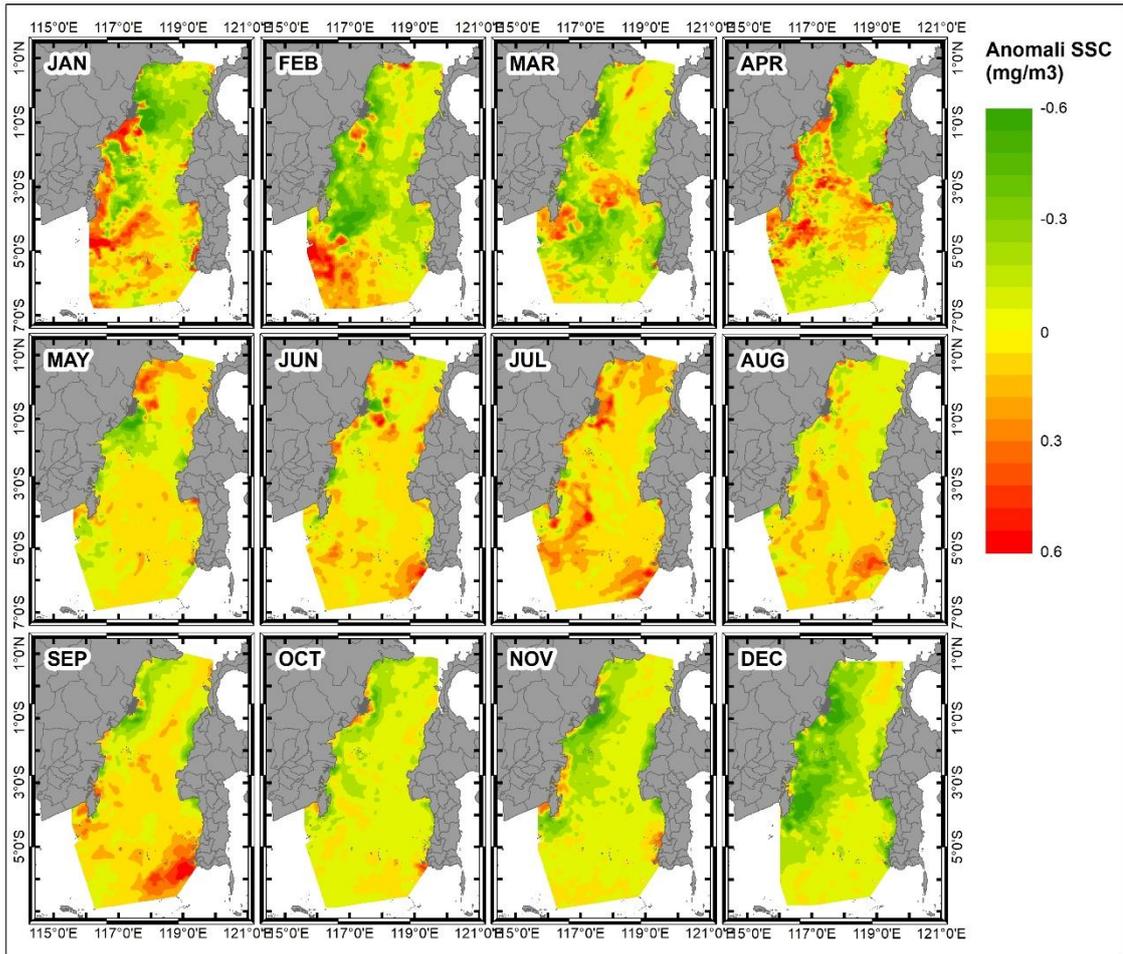


Gambar 6. Dinamika spasial dan temporal anomali kondisi SPL di Laut Flores pada bulan Januari-Desember selama 15 tahun terakhir (2005-2019)

Peningkatan SPL terjadi di ketiga perairan, namun yang paling tinggi mencapai  $-1,79^{\circ}\text{C}$  dan luas memang terjadi di Selat Makassar. Yang tidak kalah menarik adalah semua peningkatan SPL di ketiga perairan ini terjadi pada bulan yang sama yaitu Desember, sedangkan penurunan SPL terjadi pada bulan yang berbeda yaitu pada bulan Desember di Selat Makassar, pada bulan April di Teluk Bone, dan pada bulan September di Laut Flores.

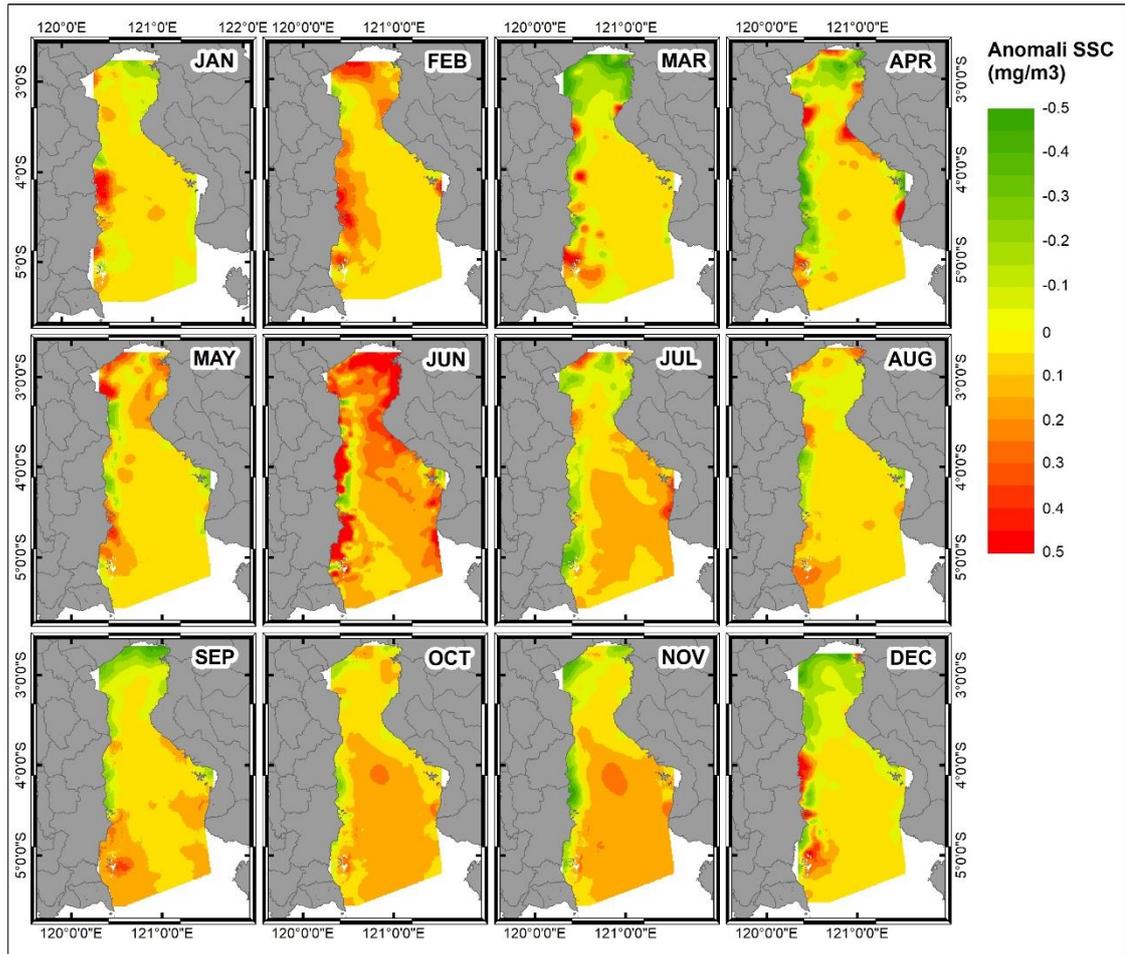
## 2. Dinamika spasial dan temporal perubahan Klorofil-a di WPPNRI 713 selama 15 tahun terakhir (2005-2019)

Gambar 7 memberikan penjelasan tentang perubahan Klorofil-a di Selat Makassar selama 15 tahun terakhir. Terjadi penurunan Klorofil-a terendah mencapai  $-0,52 \text{ mg/m}^3$  di Selat Makassar bagian tenggara atau di perairan pesisir Pangkajenne Kepulauan sampai Maros ( $116^{\circ}30'\text{BT}$  dan  $4^{\circ}\text{LS}$ ) pada bulan Maret, sedangkan peningkatan klorofil-a tertinggi mencapai  $0,58 \text{ mg/m}^3$  terjadi di Selat Makassar bagian barat daya ( $117^{\circ}\text{BT}$  dan  $4^{\circ}30'\text{LS}$ ) pada bulan April.



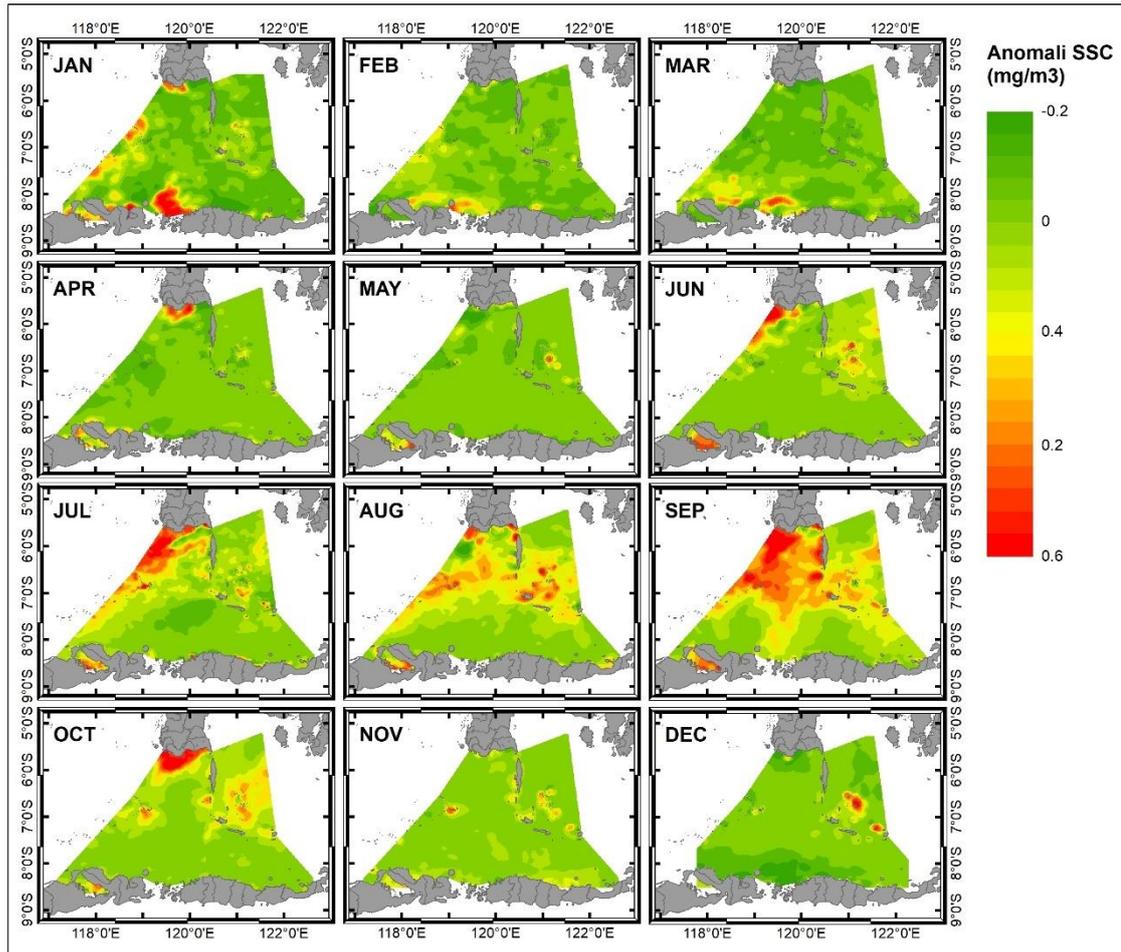
Gambar 7. Dinamika spasial dan temporal anomali Klorofil-a di Selat Makassar pada bulan Januari-Desember selama 15 tahun terakhir (2005-2019)

Anomali klorofil-a selama 15 tahun terakhir di Teluk Bone menghasilkan Gambar 8. Anomali terendah dengan nilai  $-0,43 \text{ mg/m}^3$  terjadi pada bulan April di Teluk Bone bagian barat ( $120^{\circ}30' \text{BT}$  dan  $4^{\circ} \text{LS}$ ) dan tertinggi mencapai angka  $0,47 \text{ mg/m}^3$  terjadi pada bulan Juni di perairan Teluk Bone bagian utara atau tepatnya di perairan pesisir Kolaka Utara ( $121^{\circ} \text{BT}$  dan  $3^{\circ}30' \text{LS}$ ).



Gambar 8. Dinamika spasial dan temporal anomali klorofil-a di Teluk Bone pada bulan Januari-Desember selama 15 tahun terakhir (2005-2019)

Gambar 9 menunjukkan peta dinamika spasial dan temporal anomali klorofil-a di Laut Flores. Terlihat bahwa selama 15 tahun terakhir dominan terjadi anomali negatif (rendah) di Laut Flores. Anomali terendah mencapai  $-0,18 \text{ mg/m}^3$  terjadi di Laut Flores bagian selatan ( $121^\circ\text{BT}$  dan  $8^\circ\text{LS}$ ) pada bulan Januari sedangkan anomali tertinggi mencapai  $0,56 \text{ mg/m}^3$  terjadi di Laut Flores bagian timur ( $121^\circ\text{BT}$  dan  $6^\circ30'\text{LS}$ ) pada bulan Desember.



Gambar 9. Dinamika spasial dan temporal anomali klorofil-a di Laut Flores pada bulan Januari-Desember selama 15 tahun terakhir (2005-2019)

Secara garis besar anomali klorofil-a terendah ( $-0,52 \text{ mg/m}^3$ ) dan tertinggi ( $0,58 \text{ mg/m}^3$ ) selama periode penelitian terjadi di Selat Makassar, begitu juga dengan parameter SPL. Anomali klorofil-a positif (tinggi) juga terjadi di Laut Flores, namun di perairan ini dominan anomali negatif (rendah) terlihat warnanya dominan hijau (Gambar 9), sedangkan di Teluk Bone dominan terjadi anomali positif (tinggi) terlihat dengan warna dominan merah (Gambar 8).

#### D. Pembahasan

Hasil ini telah membuktikan bahwa secara umum perairan WPPNRI 713 telah mengalami perubahan kondisi oseanografi (anomali SPL dan klorofil-a), baik di perairan terbuka (Selat Makassar dan Laut Flores) maupun di perairan semi tertutup (Teluk Bone). Beberapa penelitian terbaru juga telah membuktikan bahwa anomali kondisi oseanografi ini telah terjadi (Sartimbul *et al.*, 2010; Muhling *et al.*, 2015; Nieto dan Mélin, 2017; Chanda *et al.*, 2018; Isa *et al.*, 2020).

Klorofil-a dan SPL merupakan variabel oseanografi yang penting dalam menentukan pola distribusi dan kelimpahan ikan (Zainuddin *et al.*, 2017; Hidayat *et al.*, 2019b, 2019c). Variabilitas SPL dan konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar dipengaruhi oleh angin muson (Atmadipoera dan Widyastuti, 2015), pertukaran massa air laut dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia melalui arus lintas Indonesia (ARLINDO) (Gordon, 2005; Susanto dan Gordon, 2005; Gordon *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2018; Putri *et al.*, 2021a), pengangkutan air permukaan bersalinitas rendah dari Laut Jawa pada musim barat laut (Januari-Maret) dan air permukaan yang lebih asin dari Laut Flores pada musim tenggara (Juli-September) (Gordon *et al.*, 2003), Kejadian *upwelling* saat monsun tenggara (Setiawan dan Kawamura, 2011; Syahdan *et al.*, 2014; Atmadipoera dan Widyastuti, 2015), variabilitas perubahan iklim seperti *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Saji *et al.*, 1999; Yulihastin *et al.*, 2009; Chanda *et al.*, 2018), dan aliran air tawar dari sungai-sungai di Kalimantan Tenggara dan Sulawesi Selatan (Afdal dan H Riyono, 2004).

#### **1. Dinamika spasial dan temporal perubahan SPL di WPPNRI 713 selama 15 tahun terakhir (2005-2019)**

Anomali SPL dipengaruhi oleh variabilitas perubahan iklim (*El Niño Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Muhling *et al.*, 2015; Putri *et al.*, 2018a; Isa *et al.*, 2020), angin permukaan laut (Akhir *et al.*, 2014; Isa *et al.*, 2020), dan intensitas radiasi matahari (Muhammad *et al.*, 2016). Kejadian *El Niño* tidak memengaruhi terjadinya IOD maupun sebaliknya (Chanda *et al.*, 2018), namun *El Niño* dan IOD dapat terjadi secara bersamaan (Isa *et al.*, 2020). Sebuah penelitian membuktikan bahwa ENSO memengaruhi anomali SPL lebih lama daripada IOD. Hal ini disebabkan karena ENSO membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan siklus *El Niño* dan *La Niña* yaitu sekitar 1-2 tahun (Isa *et al.*, 2020).

Metode anomali digunakan untuk mengeksplorasi perubahan kondisi SPL di perairan WPPNRI 713 (Putri *et al.*, 2018a). Terbukti selama 15 tahun terakhir telah terjadi perubahan kondisi SPL di perairan WPPNRI 713 baik anomali negatif (hangat) dan anomali positif (dingin). Pada perairan terbuka (seperti Selat Makassar dan Laut Flores) yang mendapat pengaruh dari aliran massa air perairan lain perubahan kondisi SPL cenderung tinggi (menjauhi angka nol) dibandingkan perairan semi tertutup (seperti Teluk Bone). Penelitian sebelumnya di Teluk Bone juga menemukan bahwa telah terjadi anomali SPL di perairan ini (Putri *et al.*, 2018a).

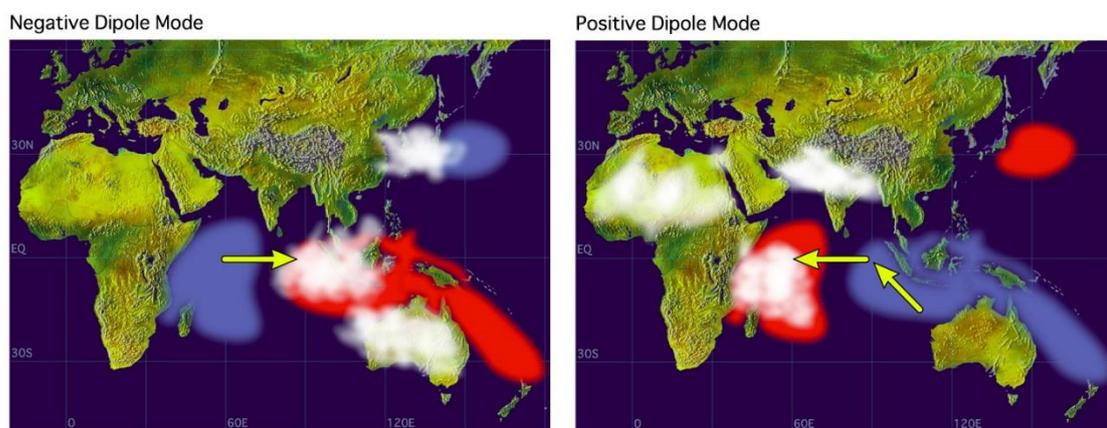
Dinamika spasial dan temporal perubahan SPL di Selat Makassar tampak jelas dan dominan lebih hangat dari biasanya (Gambar 4). Pengaruh ARLINDO yang kuat membawa massa air hangat yang melalui Selat Makassar serta pengaruh rambatan

panas dari peristiwa El-Nino di Selat Makassar adalah alasan masuk akal yang membuat Selat Makassar menjadi lebih hangat dari biasanya. Peningkatan drastis SPL pada musim barat sekitar bulan Oktober sampai Februari kemungkinan besar karena efek dari angin muson barat dan aliran air hangat dari Laut Cina Selatan. Penurunan SPL yang terjadi di wilayah Selat Makassar bagian selatan kemungkinan karena pengaruh *upwelling* yang terjadi pada bulan Agustus. *Upwelling* terjadi di bagian selatan Selat Makassar pada bulan Agustus (Inaku, 2011).

Berdasarkan parameter SPL di Teluk Bone terlihat dominan lebih dingin dari biasanya selama 15 tahun terakhir (Gambar 5). Pada musim timur yaitu sekitar bulan Juni sampai Agustus hampir seluruh wilayah Teluk Bone mengalami keadaan SPL lebih dingin dari biasanya. Hal ini diperkirakan sebagai konsekuensi dari aliran arus timur dari Laut Banda yang melewati Laut Flores dan masuk ke Teluk Bone.

Laut Flores paling banyak mendapat pengaruh dari Laut Jawa dan Laut Banda. ARLINDO dari Selat Makassar sudah tidak terlalu banyak yang masuk ke Laut Flores karena adanya Ambang Dewakang (*Dewakang Sill*) yang menghalangi arus ini, sehingga ARLINDO dari Selat Makassar lebih banyak masuk ke Laut Bali menuju Samudra Hindia melalui perairan sebelah timur Bali (Gordon, 2005).

El Nino yang terjadi di Samudra pasifik menyebabkan perubahan pola SPL normal (Yulihastin *et al.*, 2009; IATTC, 2016) sehingga menyebabkan perubahan angin permukaan musiman di sepanjang garis ekuator. Hal ini kemudian memperkuat pertumbuhan anomali SPL. Di sisi lain, peristiwa IOD memengaruhi konveksi dan curah hujan di Indonesia (Gambar 10) (Yulihastin *et al.*, 2009).



Gambar 10. Ilustrasi fenomena IOD negatif (kiri) dan positif (kanan) diperoleh dari situs IOD JAMSTEC; <http://www.jamstec.go.jp/frsgc/research/d1/iod/>. Anomali SPL ditandai dengan wilayah berwarna merah (anomali hangat) dan warna biru (anomali dingin). Bercak putih menunjukkan peningkatan aktivitas konveksi dan panah menunjukkan arah angin yang tidak normal selama peristiwa IOD.

Fenomena penurunan SPL (pendinginan) kemungkinan disebabkan oleh pengaruh variabilitas perubahan iklim (Wang dan Wu, 2013) serta fenomena pada

perairan itu sendiri seperti *upwelling* (Trenkel *et al.*, 2014; Nurani *et al.*, 2016) dan cuaca lebih sedikit badai (Trenkel *et al.*, 2014).

Sekitar 75% aliran ARLINDO masuk ke perairan Indonesia melalui Selat Makassar (Gordon *et al.*, 2010), sehingga masuk akal jika massa air hangat mencapai 0.5 – 1°C (Gordon, 2005) menyebabkan peningkatan SPL di perairan Selat Makassar.

Semua peningkatan SPL terjadi pada bulan yang sama yaitu Desember baik di Selat Makassar, Laut Flores maupun di Teluk Bone. Hal ini kemungkinan besar merupakan konsekuensi dari kejadian El Nino pada akhir tahun 2019 yang rambatan panasnya sampai ke perairan WPPNRI 713. Rambatan panas ini kemungkinan dibawa oleh ARLINDO dari Samudra Pasifik menuju perairan Selat Makassar dan Laut Flores yang diperkuat oleh angin muson barat yang bertiup dari utara menuju selatan.

## **2. Dinamika spasial dan temporal perubahan klorofil-a di WPPNRI 713 selama 15 tahun terakhir (2005-2019)**

Klorofil-a merupakan pigmen fitoplankton yang berperan dalam proses fotosintesis. Kandungan klorofil-a di perairan berkaitan erat dengan kelimpahan fitoplankton (Nybakken, 1992). Fitoplankton berperan sebagai produsen primer di perairan sehingga dapat dijadikan sebagai indikator kesuburan perairan di mana fitoplankton ini sebagai sumber pakan bagi seluruh organisme lainnya di perairan. Oleh karena itu, klorofil-a sebagai salah satu indikator potensi daerah penangkapan dan musim penangkapan ikan (Laevastu dan Hayes, 1981).

Pergeseran iklim menyebabkan perubahan yang ekstrem pada konsentrasi klorofil-a. Klorofil-a telah mengalami penurunan di lautan luas dalam beberapa dekade terakhir. Penurunan ini mencapai 1,4% per tahun (IATTC, 2016).

Penelitian ini membuktikan bahwa telah terjadi anomali klorofil-a di WPPNRI 713 selama 15 tahun terakhir. Anomali ini diperkirakan terjadi akibat pengaruh perubahan iklim. Secara spasial di Selat Makassar pada umumnya terjadi anomali negatif di perairan dekat pantai dan dominan terjadi anomali positif di perairan lepas pantai. Terjadinya fluktuasi ini diperkirakan karena pengaruh ARLINDO dan aliran air dari sungai-sungai di Kalimantan dan Sulawesi (Gordon *et al.*, 2003; Afdal dan H Riyono, 2004; Gordon, 2005; Susanto dan Gordon, 2005).

Dominan terjadi peningkatan konsentrasi klorofil-a selama 15 tahun terakhir di Teluk Bone. Dalam sebuah penelitian terakhir disebutkan bahwa pengaruh perubahan iklim menyebabkan penurunan konsentrasi klorofil-a (Drinkwater *et al.*, 2010; Putri *et al.*, 2018a). Konsentrasi klorofil-a di perairan tropis juga telah menurun sejak tahun 1999. Fenomena ini diakui disebabkan oleh peningkatan SPL dan stratifikasi vertikal (terjadi perbedaan SPL pada setiap lapisan perairan secara vertikal) yang memengaruhi

ketersediaan nutrisi untuk pertumbuhan fitoplankton (IATTC, 2016). Oleh karena itu, bisa jadi peningkatan konsentrasi klorofil-a di Teluk Bone ini disebabkan oleh faktor lain seperti *upwelling*, *downwelling*, La Nina, dan fenomena lainnya (IATTC, 2016; Sprintall, 2019). Selama peristiwa El-Nino klorofil-a menurun (Drinkwater *et al.*, 2010; Garcia *et al.*, 2013; IATTC, 2016) , penurunan produktivitas plankton, dan pada akhirnya sedikit makanan untuk tingkat tropik yang lebih tinggi (Drinkwater *et al.*, 2010). Sebaliknya klorofil-a meningkat selama peristiwa La Nina karena perubahan ketersediaan nutrisi (IATTC, 2016). Di Teluk Bone pada bulan Juni mulai terlihat anomali (peningkatan klorofil-a dari biasanya) kemungkinan besar karena pengaruh *run off* banjir yang terjadi Bulan Juni di Teluk Bone.

Analisis anomali membuktikan bahwa di Laut Flores dominan terjadi anomali rendah (negatif) mulai dari Januari sampai Desember selama 15 tahun terakhir, hanya di perairan bagian bawah dari daratan Sulawesi Selatan yang mengalami anomali tinggi selama bulan Juni sampai Oktober. Peningkatan klorofil-a drastis dari biasanya pada bulan September di sebelah barat Selayar diperkirakan karena efek *upwelling* yang terjadi pada bulan Agustus di bagian selatan Selat Makassar. Sebuah penelitian sebelumnya mengatakan bahwa jalur dominan bagi air Pasifik untuk masuk ke ARLINDO adalah melalui Selat Makassar, yang mewakili lebih dari 75% dari total ARLINDO yang pada akhirnya bermuara ke Samudra Hindia (Gordon *et al.*, 2010).

## **E. Kesimpulan**

Kesimpulan dari tujuan pertama penelitian ini didapatkan bahwa telah terjadi anomali rendah (negatif) maupun anomali tinggi (positif) di perairan WPPNRI 713 selama 15 tahun terakhir. Anomali SPL terendah yaitu  $-1,68^{\circ}\text{C}$  (di perairan Selat Makassar bagian barat laut ( $118^{\circ}\text{BT}$  dan  $1^{\circ}\text{LS}$ )) pada bulan Desember dan tertinggi tercatat mencapai  $1,79^{\circ}\text{C}$  (di perairan Selat Makassar barat daya ( $117^{\circ}\text{BT}$  dan  $5^{\circ}\text{LS}$ )). Anomali klorofil-a terendah tercatat  $-0,52\text{ mg/m}^3$  di Selat Makassar bagian tenggara atau di perairan pesisir Pangkajene Kepulauan sampai Maros ( $116^{\circ}30'\text{BT}$  dan  $4^{\circ}\text{LS}$ ) pada bulan Maret dan anomali klorofil-a tertinggi mencapai  $0,58\text{ mg/m}^3$  terjadi di Selat Makassar bagian barat daya ( $117^{\circ}\text{BT}$  dan  $4^{\circ}30'\text{LS}$ ) pada bulan April. Baik anomali SPL maupun anomali klorofil-a yang tertinggi dan terendah semua terjadi di Selat Makassar. Perairan terbuka seperti Selat Makassar dan Laut Flores cenderung fluktuatif dan ekstrem perubahan kondisi oseanografinya dibandingkan perairan semi tertutup seperti Teluk Bone yang cenderung lebih stabil.