IPB University
— Bogor Indonesia —
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

1 PENDAHULUAN

Latar Belakang

Teluk Bone merupakan sebuah teluk di Pulau Sulawesi yang berada di antara Provinsi Sulawesi Selatan (di sebelah barat dan utara) dan Provinsi Sulawesi Tenggara (di sebelah timur). Teluk Bone berbatasan langsung dengan Laut Flores. Menurut Rahardiawan dan Arifin (2013), kedalaman laut di Teluk Bone sangat bervariasi yang mencapai 2000 meter ke arah lepas pantai di sebelah selatan. Kedalaman dangkal antara 50 sampai 200 meter terdapat di sepanjang pantai barat, utara, dan timur dengan morfologi dasar laut agak bergelombang dan curam ke bagian selatan. Salah satu sungai besar yang bermuara ke Teluk Bone yaitu Sungai Cenrana, yang merupakan pemasok sedimen yang cukup tinggi karena beberapa sungai besar dan kecil bermuara ke sungai ini.

Dinamika laut-atmosfer skala regional terjadi di sekitar perairan Teluk Bone yang diduga dapat mempengaruhi karakteristik massa airnya secara langsung maupun tidak langsung, di antaranya Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) yang 80% nya mengalir melalui Selat Makassar dan sebagian berbelok ke Timur melewati Laut Flores di selatan Teluk Bone menuju Laut Banda (Gordon 2005). Mekanisme lain yang juga hadir di Teluk Bone yaitu angin Monsun Tenggara dan Monsun Barat Laut yang terjadi secara musiman di Indonesia (Gordon 2005). Angin musiman juga dapat mempengaruhi transpor Ekman yang disebut dengan *wind-driven Ekman flow*, yang dapat menggerakkan massa air dan nutrien di dalamnya (Sprintall dan Liu 2005) misalnya melalui *upwelling* dan *downwelling,* seperti *upwelling* Ekman yang terjadi pada Juli-September dan *downwelling* Ekman pada Januari-Maret di Laut Banda (Gordon 2005), sehingga dapat mempengaruhi distribusi kelimpahan biota laut.

Total produksi ikan di wilayah sekitar Teluk Bone—Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara—mencapai 480 572 ton (KKP 2016). Hal ini menunjukkan bahwa Teluk Bone merupakan salah satu wilayah yang paling produktif secara biologis di daerah tropis (Inaku 2015). Salah satu sumberdaya ikan yang memiliki potensi tinggi di Teluk Bone adalah ikan cakalang. Mallawa *et al*. (2016) dalam penelitiannya menggunakan analisis data statistik perikanan ikan cakalang di perairan Teluk Bone melaporkan bahwa produksi tahunan, produksi maksimum lestari (*Maximum Sustainable Yield*) dan jumlah tangkapan diperbolehkan (*Total Allowable Catch*) masing-masing adalah sebesar 6666.20 ton per tahun, 20 154.24 ton per tahun, dan 16 123.37 ton per tahun. Upaya tahunan dan upaya optimum tahunan masing-masing adalah sebesar 2208 unit dan 1422 unit setara pukat cincin, yang dapat diartikan bahwa kegiatan penangkapan ikan cakalang di perairan Teluk Bone masih memungkinkan untuk ditingkatkan.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menggambarkan aspek oseanografi fisika di Teluk Bone. Norman *et al.* (2012) juga mengkaji bahwa pola distribusi arus permukaan laut pada bulan Januari hingga April di Teluk Bone secara umum bergerak dominan dari arah timur, sedangkan pada bulan Mei hingga Desember bergerak dominan dari arah barat. Rata-rata kecepatan arus permukaan laut di daerah ini secara umum rendah (0-5 cm/s) pada bulan Januari hingga Desember, namun pada bulan Januari di bagian tengah dan selatan Teluk Bone

IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

@Hak cipta milik IPB University

Perpustakaan IPB University

kecepatan arus cukup tinggi dengan nilai berkisar antara 25-40 cm/s. Penelitian lain memberikan informasi mengenai pola sirkulasi laut di perairan sekitar Teluk Bone, yang dapat mempengaruhi variabilitas massa air di Teluk Bone. Putriani (2018) menemukan bahwa puncak tertinggi kecapatan arus di sekitar ARLINDO Makassar dan ARLINDO wilayah timur berada di Laut Flores (0.2-0.4 m/s) yang berada di selatan Teluk Bone. Suhu air laut dari Selat Makassar menurun secara konsisten saat memasuki Laut Flores dan Laut Banda. Atmadipoera dan Widyastuti (2014) juga menemukan bahwa sebagian kecil massa air ARLINDO yang melintas melalui Selat Makassar mengalir ke Selat Selayar dan masuk ke perairan selatan Teluk Bone.

Tingginya sumber daya laut seperti perikanan di suatu perairan dihasilkan oleh tingginya produktivitas primer. Produktivitas primer di laut erat kaitannya dengan kelimpahan fitoplankton yang memproduksi klorofil-a di perairan dengan ketersediaan cahaya yang cukup. Faktor oseanografi yang terindikasi berpengaruh nyata hingga dapat mempengaruhi produktivitas primer di Teluk Bone ialah suhu permukaan laut (Fajrianti *et al*. 2016). Kemili dan Putri (2012) menemukan bahwa penurunan SPL sebesar 1-1.82 ^{o}C di bawah SPL rata-rata (28.4 ^{o}C) diikuti dengan peningkatan produktivitas primer bersih (NPP) hingga 300-400 mgCm^{-2} per hari di Teluk Bone. Fluktuasi variabel oseanografi permukaan seperti SPL dan klorofil-a dipengaruhi oleh pola pergerakan massa air (Kunarso 2011). Jufri *et al.* 2014 menemukan bahwa Suhu Permukaan Laut (SPL) dan klorofil-a lebih tinggi selama Monsun Barat Laut berkisar 29.9 – 31.0 ^{o}C dan 0.12 – 0.22 mg m^{-3}, dan produksi primer mencapai 5.3 – 11.62 g C m^{2} per bulan.

Spesies ikan dikaitkan dengan siklus biogeokimia karena ketergantungannya terhadap produksi primer sebagai makanan. Siklus biogeokimia merupakan daur ulang materi anorganik antara organisme hidup dengan lingkungannya (Fisher 2019). Penyebaran variabel biogeokimia itu sendiri disebabkan oleh proses fisik yang terjadi di perairan. Beberapa peneliti mengkaji hubungan suhu permukaan laut dengan distribusi ikan di Teluk Bone. Kelimpahan cakalang (*Katsuwonus pelamis*), yang termasuk ke dalam spesies pelagis besar yang paling potensial di Teluk Bone, diindikasikan berkorelasi (+ atau -) dengan perubahan SPL seperti yang diidentifikasi oleh Putri *et al.* (2018) yang menemukan bahwa tangkapan cakalang cenderung lebih tinggi pada anomali SPL -0.05 – 0.20 ^{o}C di daerah ini. Studi lain menunjukkan bahwa cakalang ditemukan di daerah *front* termal di Teluk Bone, yang terjadi di daerah dengan anomali SPL negatif -2.14 – -0.65 ^{o}C (Angraeni *et al*. 2014).

Penelitian lainnya seperti yang dilakukan oleh Pranowo *et al*. (2014) juga menemukan bahwa pada musim tertentu seperti Monsun Tenggara, kecepatan arus permukaan vertikal *upwelling* dan *downwelling* di Teluk Bone rendah, sehingga membuat pengadukan nutrien di musim ini tidak terlalu kuat. Kecepatan arus <100 cm/s yang ditemukan pada penelitian tersebut menunjukkan adanya stratifikasi pada lapisan permukaan, yang mendukung kondisi perairan untuk menjaga nutrien yang cukup untuk dimanfaatkan oleh fitoplankton dan membuat kesuburan perairan stabil. Hal ini menunjukkan indikasi adanya keterkaitan antara pola sirkulasi laut di Teluk Bone dengan distribusi nutrien dan parameter lainnya. Perairan sekitar diduga kuat memiliki peran penting untuk membawa nutrien dari luar ke dalam teluk dan sebaliknya. Penelitian oleh Norman *et al*. (2012) menunjukkan bahwa arah dan kecepatan arus permukaan laut Teluk Bone sangat dipengaruhi oleh arus

IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

permukaan laut dari selatan perairan Teluk Bone. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh angin monsun, terutama pada bulan Juni-Agustus.

Penelitian-penelitian yang disebutkan di atas telah mengungkap beberapa rona permukaan, seperti arus, SPL, dan klorofil-a, dan dapat lebih diperdalam agar mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif dengan menggunakan kombinasi pendekatan observasi lapangan dan pemodelan. Penelitian mengenai keterkaitan sirkulasi laut dengan karakteristik massa air di Teluk Bone serta hubungannya terhadap produktivitas primer laut belum banyak dilakukan. Penemuan dari riset-riset yang ada mengindikasikan adanya potensi interaksi antara sirkulasi laut terhadap aspek biogeokimia di Teluk Bone seperti klorofil-a, yang merupakan komponen penting dalam produktivitas primer. Sehingga analisis mengenai sirkulasi laut di Teluk Bone dan hubungannya terhadap produktivitas primer ini menjadi penting untuk dilakukan untuk melihat besarnya pengaruh dari sirkulasi laut seperti pertukaran massa air di luar teluk dengan massa air di dalam teluk, terhadap distribusi produktivitas primer yang dapat mengendalikan kelimpahan sumber daya ikan di Teluk Bone. Penelitian ini menganalisis data hasil dari observasi lapangan dan hasil simulasi numerik dari model sirkulasi laut umum untuk mendapatkan gambaran yang lebih luas dan sinoptik secara spasial dan temporal.

Perumusan Masalah

Teluk Bone memiliki karakteristik wilayah yang unik karena tingginya kelimpahan ikan di wilayah ini. Perairan ini bertemu langsung dengan Laut Flores yang merupakan lintasan ARLINDO, dan juga dipengaruhi oleh angin monsun sehingga mengindikasikan pengaruh sirkulasi laut di sekitar perairan terhadap karakteristik massa air di Teluk Bone. Distribusi biogeokimia seperti SPL dan klorofil-a menunjukkan adanya korelasi dengan kelimpahan sumber daya ikan di Teluk Bone. Penelitian menggunakan observasi dengan satelit telah banyak dilakukan, namun kajian komprehensif menggunakan data observasi lapangan dan pemodelan numerik mengenai pola sirkulasi laut dengan produktivitas primer di wilayah ini belum pernah dilakukan.

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab pertanyaan ilmiah berikut:

1. Bagaimana pola sirkulasi laut di Teluk Bone?
2. Bagaimana pertukaran antara massa air di dalam teluk dengan di luar teluk (Laut Flores)?
3. Bagaimana variabilitas pertukaran volum transpor dari dan ke Teluk Bone?
4. Bagaimana aspek fisik tersebut berpengaruh terhadap distribusi produktivitas primer laut di wilayah Teluk Bone dan sekitarnya?

Pertanyaan ilmiah di atas selanjutnya akan dijawab melalui pendekatan observasi dan hasil simulasi numerik *Ocean General Circulation Model* (OGCM) yang digambarkan dalam kerangka pikir penelitian (Gambar 1).

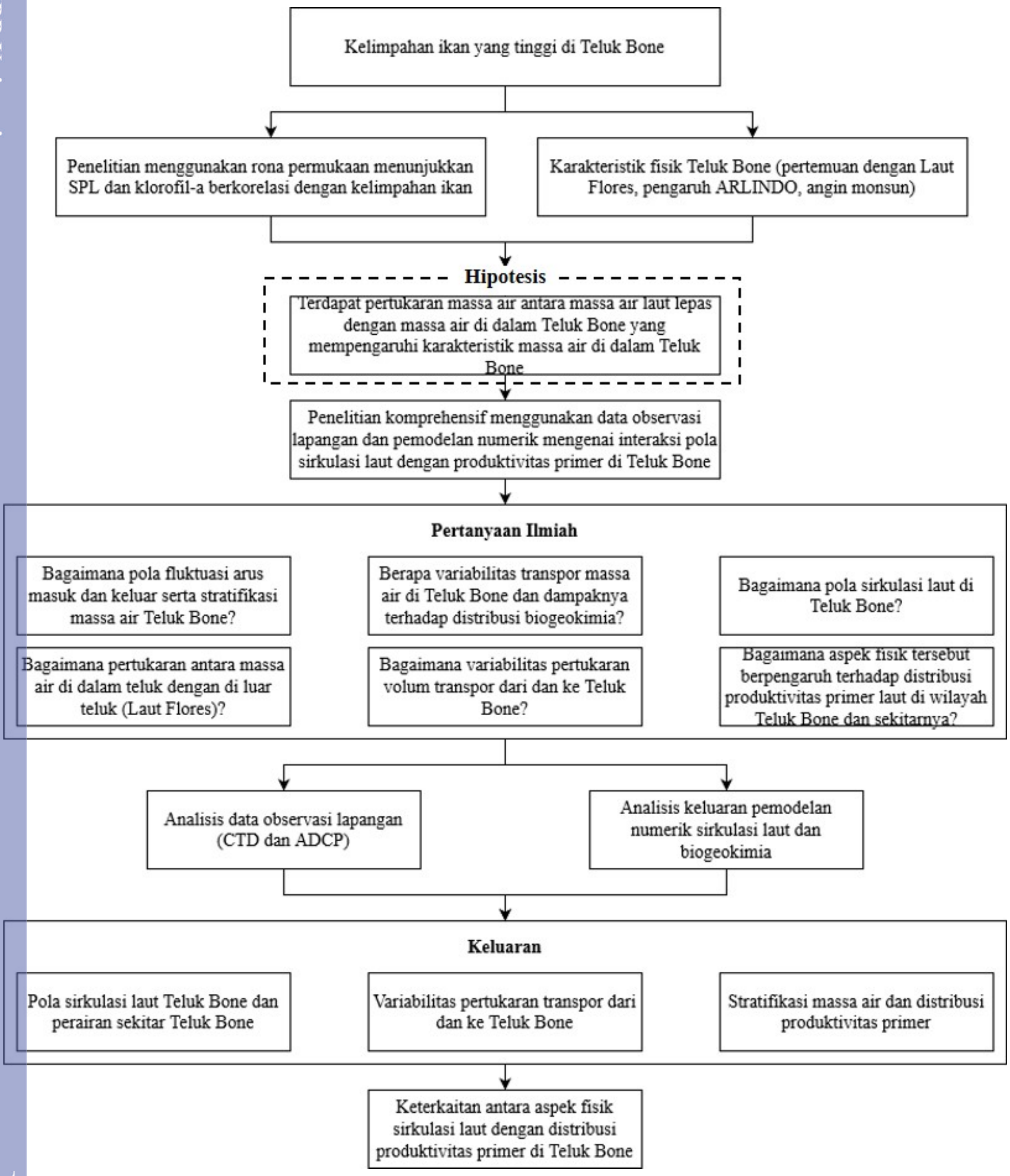
Tujuan Penelitian

Studi ini mencakup pola sirkulasi massa air dan hubungannya dengan produktivitas primer di perairan Teluk Bone. Penelitian ini bertujuan untuk

menganalisis pola sirkulasi laut dan stratifikasi massa air, dan menganalisis variabilitas transpor massa air dan pengaruhnya terhadap produktivitas primer.

Hipotesis

Penelitian ini memiliki hipotesis bahwa terdapat pertukaran massa air antara massa air laut lepas dengan massa air di dalam Teluk Bone yang mempengaruhi karakteristik massa air di dalam Teluk Bone, sehingga massa air di Teluk Bone memiliki produktivitas biologis yang tinggi.



Gambar 1 Kerangka pikir penelitian

IPB University — Bogor Indonesia —
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

Manfaat Penelitian

Hasil yang didapat dari pemahaman mengenai hubungan sirkulasi laut dan biogeokimia di Teluk Bone akan memberikan manfaat berupa informasi tentang kontribusi proses fisik terhadap distribusi biogeokimia. Sebagian besar populasi ikan (terutama pelagis) terkait erat dengan biogeokimia lautan, oleh karena itu pemahaman mengenai hubungan sirkulasi laut dan biogeokimia akan memberikan informasi untuk mengetahui bagaimana sirkulasi air laut dapat menggerakkan nutrien di Teluk Bone yang akan mengendalikan kelimpahan ikan di daerah ini.

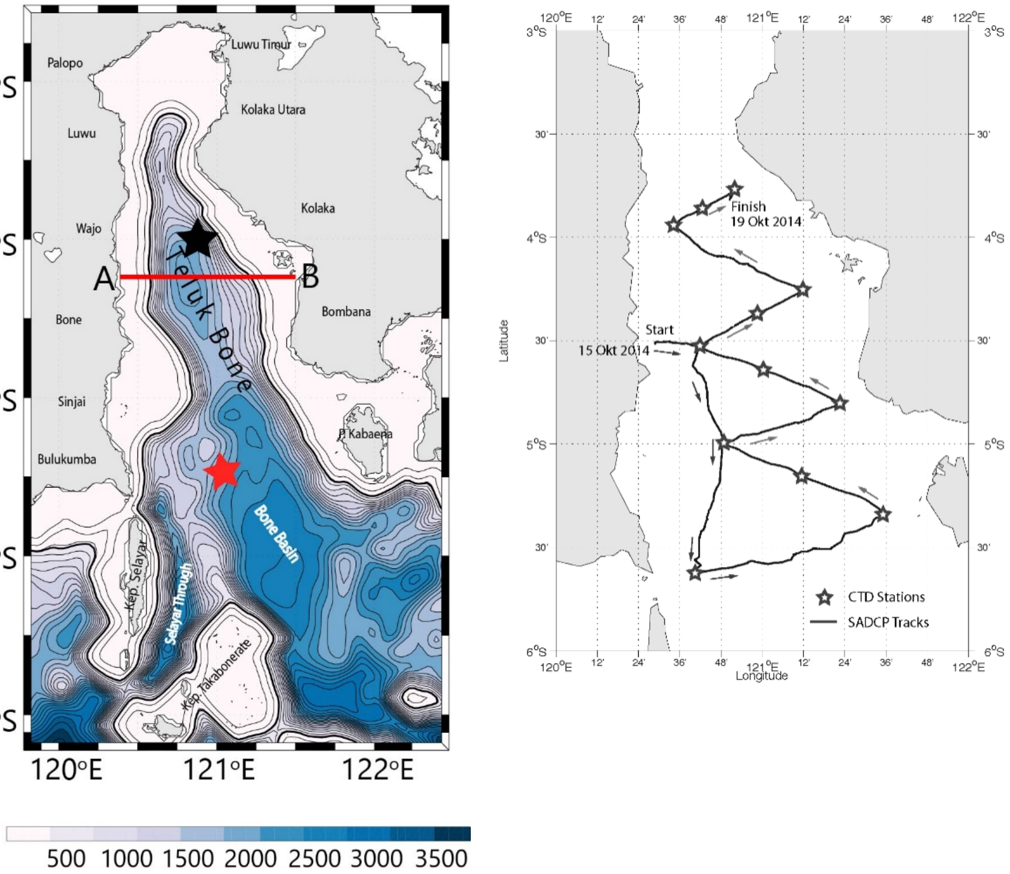
Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada pendekatan observasi lapangan dan pemodelan numerik. Domain penelitian dibatasi oleh Teluk Bone di sebelah utara (2.55^{o}LS) hingga Pulau Selayar di sebelah selatan (7.33^{o}LS), dan Selat Makassar di sebelah barat (119.95^{o}BT) hingga Sulawesi Tenggara di sebelah timur (122.45^{o}BT). Kajian ini hanya meliputi analisis dinamika laut dan produktivitas primer dari hasil simulasi numerik dari OGCM dan model biogeokimia, tanpa memasukkan titik sumber dari sungai-sungai di Teluk Bone. Analisis volum transpor menggunakan pertimbangan variabilitas untuk periodisitas >20 hari.

2 METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Teluk Bone, yakni di bagian selatan Pulau Sulawesi dengan batasan model diperlihatkan oleh Gambar 2a serta titik pengambilan data pada observasi lapangan ditunjukkan oleh Gambar 2b. Observasi lapangan dilakukan pada tanggal 15-19 Oktober 2014 oleh tim Balai Penelitian Perikanan Laut (BPPL) dan Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan (ITK), Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) IPB dan pemrosesan data observasi dan model dilakukan pada tahun 2015 dan 2018 di Laboratorium Oseanografi Fisik, Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan FPIK, IPB.



(a) (b)

Gambar 2 Lokasi penelitian Teluk Bone: (a) domain model dan batimetri. AB (4.25°LS, 120.4-121.5°BT) merupakan transek untuk perhitungan transpor, bintang hitam merupakan titik pengamatan biogeokimia di dalam teluk (4°LS, 120.75°BT), bintang merah merupakan titik pengamatan biogeokimia di luar teluk (4°LS, 121°BT); (b) lokasi observasi lapangan dengan plot stasiun *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) dan *Conductivity, Temperature, Depth* (CTD) pada bulan Oktober 2014

Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian merupakan hasil pengukuran observasi lapangan oleh tim survei BPPL Kementerian Kelautan dan Perikanan dan Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan IPB FPIK IPB, menggunakan kapal milik SUPM Watampone. Penelitian juga menggunakan hasil simulasi numerik dari OGCM dengan kopel biogeokimia ROMS dan INDESO. Jenis dan sumber data yang digunakan di dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 1. Secara singkat, metode perolehan data hingga analisis ditampilkan pada Gambar 3.

IPB University
— Bogor Indonesia —
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

Tabel 1 Parameter yang dianalisis dalam studi beserta spesifikasinya

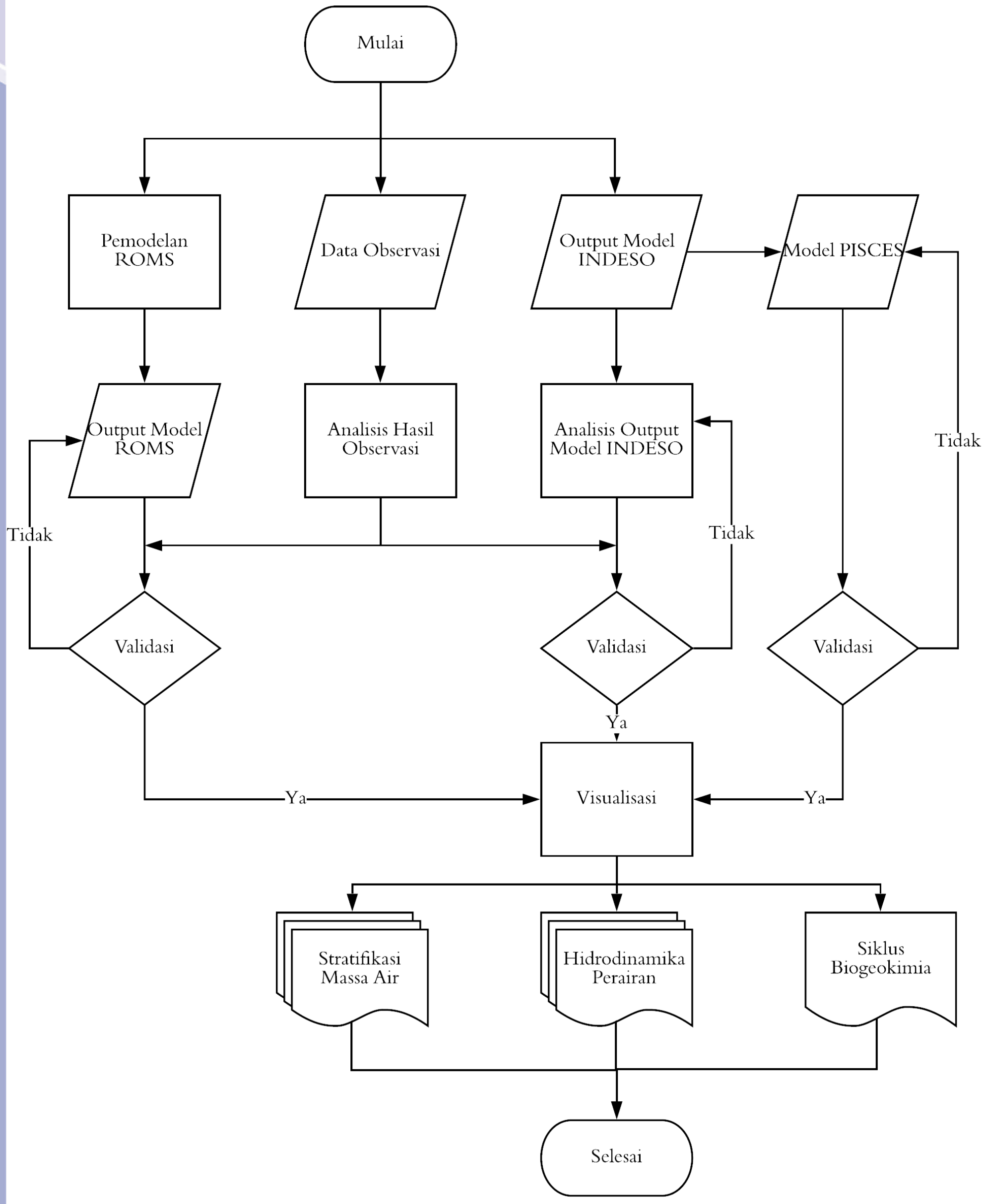
Parameter	**Sumber**	**Spesifikasi**
Observasi lapangan		
Suhu Salinitas DO Klorofil-a pH	CTD SBE 19 Plus	Pengukuran profil CTD (*Conductivity, Temperature,* Depth) dilakukan antara kedalaman permukaan sampai kedalaman 250 m pada 12 titik.
Arus	SADCP RDI 200 kHz	Arus permukaan laut diukur dari kedalaman 5 hingga 20 m.
Sampel air laut	Nalgen dan *vacuum pump*	Sampel air laut diambil untuk analisis klorofil-a pada 24 titik di sepanjang transek. Prosedur analisis klorofil-a dilakukan berdasarkan APHA (2012).
Model		
Arus Suhu Salinitas Oksigen Fitoplankton Zooplankton Detritus	ROMS/NPZD	Data keluaran model dari *Regional Ocean Modeling System* (ROMS) digunakan untuk memperoleh nilai dari parameter oseanik dan biogeokimia untuk 10 tahun simulasi dengan resolusi 1/36° atau 3 km. Data tahun ke-10 diambil untuk dianalisis.
Arus	INDESO	Data keluaran model *Infrastructure Development of Space Oceanography* (INDESO) selama 7 tahun (2008 – 2011) dengan resolusi 1/12° digunakan untuk menghitung nilai transpor dan variabilitas.
Biogeokimia	PISCES	Data keluaran model INDESO digunakan sebagai input model PISCES tahun 2008-2014.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



Gambar 3 Diagram alir metode penelitian

Pemrosesan dan Analisis Data

Data observasi CTD dan SADCP diperoleh dari hasil pemrosesan yang dilakukan oleh tim survei Teluk Bone yang kemudian divisualisasikan menggunakan beberapa perangkat lunak. Langkah-langkah yang digunakan dalam memproses data CTD dan SADCP serta pemodelan disediakan pada sub-bab berikut.

Data CTD

Data yang diambil dan digunakan untuk penelitian ini adalah data CTD dari 12 stasiun. Konfigurasi terhadap instrumen dilakukan sebelum instrumen

diturunkan yang meliputi penentuan frekuensi instrumen, penyesuaian terhadap kondisi umum lokasi penurunan alat, serta penyetelan waktu perekaman. Konfigurasi ini selanjutnya disimpan kedalam file dengan ekstensi *.xmlcon. Selanjutnya reduksi data CTD SBE 19 plus dimulai dengan menggunakan rangkaian modul pemrosesan menggunakan perangkat lunak Sea-Bird dengan urutan sebagai berikut: *Data Conversion, Align CTD, Wild Edit, Filter, Cell Thermal Mass, Loop Edit, Derive, Bin Average*, dan *Translate* (McTaggart *et al.* 2010).

Data conversion mengkonversi data dalam format hex menjadi unit "keteknikan/*engineering*". *Align CTD* digunakan untuk menyelaraskan waktu relatif terhadap tekanan yang diaplikasikan pada konduktivitas untuk meminimalisir *spiking* di wilayah kolom air yang memiliki gradien tinggi. *Wild Edit* digunakan untuk menghilangkan pencilan ekstrim dengan cara membuat dua *passes* melalui data dalam 100-*scan* bin. *Filter* dapat digunakan untuk menghaluskan beberapa *noise* digitasi pada tekanan dengan mengaplikasikan *low pass filter*. *Cell Thermal Mass* mengunakan penapisan rekrusif untuk mengurangi efek masa termal sel dari konduktivitas yang diukur. *Loop Edit* digunakan untuk menghilangkan rekaman yang berasosiasi dengan pelambatan dan pembalikan tekanan. *Derive* menggunakan rataan bin dari tekanan, suhu, dan konduktivitas untuk mengkomputasi salinitas primer dan sekunder, juga parameter yang diinginkan lainnya seperti oksigen terlarut.*Bin Average* merata-ratakan koreksi respon sensor. Setiap bin dipusatkan pada sebuah nilai tekanan integer, contohnya rataan rekaman 1-dbar bin dengan tekanan antara 0.5 dbar dan 1.5 dbar. *Translate* mengkonversi data bineri menjadi format ASCII.

Tahapan-tahapan tersebut diolah menggunakan perangkat lunak SBE Data Processing dan selanjutnya ditampilkan menggunakan perangkat lunak Ocean Data View. Seluruh langkah tersebut dilakukan untuk memproses data yang diukur dengan CTD.

Data Arus SADCP

Pemrosesan data *Shipboard* ADCP (SADCP) bertujuan untuk melakukan koreksi arus pasang surut terhadap arus non pastu dan koreksi lain terhadap posisi trek. Hasil pemrosesan akan memisahkan arus pasang surut dari arus non pasang surut, sehingga vektor arus yang diplot pada peta tidak lagi memiliki komponen pasut. Prediksi pasut menggunakan data dari model TPOX7.

Pemrosesan data SADCP membutuhkan beberapa langkah penting. CODAS (*Common Oceanographic Data Access System*) adalah basis data yang dirancang untuk menyimpan data ADCP dan informasi terkait (contohnya arah, waktu, dan posisi). Basis data CODAS berfungsi sebagai kendaraan untuk menyimpan dan menyusun data ADCP saat langkah-langkah pemrosesan sedang berjalan. Secara teknis, perangkat ini ditujukan untuk ekstrasi data dan analisis yang meliputi fungsi pemrosesan, kalibrasi, dan navigasi. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pemrosesan CODAS meliputi pemindaian data, memuat data, mengevaluasi kualitas data dengan melakukan analisis diagnostik, menyunting profil dan data navigasi, mengkalibrasi data arus, mereferensikan data arus, dan menyesuaikan kedalaman.

IPB University — Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University
@Hak cipta milik IPB University
IPB University

Model Hidrodinamika

Penelitian ini menggunakan keluaran model hidrodinamika ROMS (Shchepetkin dan McWilliams 2003, 2005) dalam versi AGRIF yang memiliki kemampuan *nesting* dua arah (Penven *et al.* 2006, Debreu *et al*. 2012). ROMS adalah model laut hidrostatik, permukaan bebas, persamaan primitif dengan koordinat lengkung horizontal pada Arakawa C-grid dan telah dikembangkan untuk simulasi realistis dari interaksi antara daerah pesisir dan laut terbuka. ROMS merupakan sebuah model numerik tiga dimensi (3D), permukaan bebas (*free-surface*), dan mengikuti relief topografi (*terrain-following*) yang menyelesaikan solusi persamaan Navier-Stokes rataan *Reynolds* dengan menggunakan asumsi-asumsi hidrostatis dan Boussinesq. Detil persamaan yang digunakan dalam model ROMS dapat dilihat dalam publikasi oleh Shchepetkin dan McWilliams (2003, 2005).

Simulasi ROMS membutuhkan data grid horizontal (posisi titik grid, ukuran sel grid), topografi dasar laut, land mask, gaya-gaya permukaan (wind stress, fluks bahang permukaan, fluks air tawar), kondisi inisial (suhu, salinitas, arus, tinggi muka laut) dan kondisi batas lateral (suhu, salinitas, arus, tinggi muka laut). Data masukan model diperoleh dari badan penelitian dan basis data dunia (Penven et al. 2007) antara lain fluks atmosfer(fluks bahang, parameter udara-laut, fluks air tawar)dari COADS05, batimetri perairan dari citra satelit Etopo-01, suhu permukaan laut global bulanan resolusi tinggi (9.28 km) dari AVHRR-Pathfinder Observationstahun 1985-1997, klimatologi bulanan wind stress dari QuickSCAT, propertiair laut dari World Ocean Database (2006) dan kondisi batas lateral dari hasil simulasi Drakkar INDO-ORCA05 klimatologi (1970-2003).

Domain model berada pada koordinat 2.5-7°LS dan 119.75-122.5°BT. Model memiliki 32 level vertikal dan resolusi 1/36° atau 3 km. Model disimulasikan selama 10 tahun dan data tahun ke-10 diambil untuk dianalisis. Model ini tidak memasukkan titik sumber dari sungai-sungai.

Model Biogeokimia *Nutrient-Phytoplankton-Zooplankton-Detritus* (NPZD)

ROMS dipasangkan ke model biogeokimia yang menghitung pengendapan dan pelepasan komponen biologi dan kimia. Model ini adalah model jenis NPZD berbasis nitrogen yang menghitung lima variabel besar: nitrat (NO_3), fitoplankton (Phyt), zooplankton (Zoo) dan detritus (Det), semua dalam unit nitrogen (mmol N m^{-3}) dengan tambahan klorofil-a (mg m^{-3}) yang berasal dari fitoplankton dengan menggunakan rasio karbon:klorofil-a (Radach dan Moll 1993, Lacroix dan Nival 1998, Tian *et al.* 2000). Skema nitrogen dan fluks karbon berdasarkan Fennel *et al.* (2006) disajikan pada Lampiran 1.

Model Biogeokimia PISCES

Data biogeokimia laut diperoleh dari model PISCES (Aumont dan Bopp 2006). Model PISCES mensimulasikan produksi primer laut dengan komponen fitoplankton dan zooplankton secara eksplisit. Model ini menggambarkan siklus biogeokimia karbon dan nutrisi utama (nitrat, amonium, fosfat, asam silikat dan zat besi), sedangkan kandungan oksigen terlarut dan alkalinitas disimulasikan secara eksplisit. Model fisik dan biogeokimia digabungkan secara sejalur, sehingga adveksi-difusi dari semua variabel biogeokimia diatur oleh kecepatan laut dan medan difusivitas yang disimulasikan oleh model fisik laut.

IPB University
— Bogor Indonesia —
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

Kalkulasi Volume Transpor

Estimasi transpor sepanjang Transek AB di 4.25°S (lihat Gambar 2a) dihitung dengan mengintegrasikan komponen meridional terhadap panjang dan kedalaman transek mengikuti persamaan di bawah ini (Emery dan Thomson 2014):

$$Qv_{A\text{-}B} = \int_{A}^{B} \int_{z}^{0} v \, dx \, dz \qquad (23)$$

dimana Qv adalah estimasi volume transpor (dalam Sverdrup Sv; 1 Sv = 106 $m^3 s^{-1}$), A adalah batas bujur 120.4°E, B adalah batas bujur 121.9°E, z adalah batas bawah kedalaman (dalam studi ini z = 500 m), dan *v* adalah komponen meridional.

Analisis Data Deret-Waktu

Data deret waktu meridional dirata-ratakan secara klimatologi menggunakan program Ferret dengan melakukan metode *regridding* yang dilakukan dengan transformasi *regridding* modulo. Data dikomputasi klimatologi 12 bulan dengan merata-ratakan waktu penuh dari variabel input yakni data harian yang diperoleh dari INDESO tahun 2008-2011, menjadi 12 poin sumbu klimatologi.

Deret waktu transpor meridional ditapis menggunakan *Hanning Smoother*. Persamaan berikut mendefinisikan jendela Hanning:

$$\omega(n) = 0.5 - 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N} \qquad (24)$$

untuk n = 0, 1, 2,…, *N* - 1, di mana *N* adalah panjang jendela dan ω adalah nilai jendela. Pembobot yang diberikan dalam penapisan yaitu 31 hari untuk menghilangkan pengaruh pasang surut. Penapisan jenis ini dapat mengurangi lolosnya energi pasut yang tidak diinginkan (Emery dan Thomson 2014). Skrip yang digunakan untuk perata-rataan klimatologi dan penapisan diberikan pada Lampiran 2.

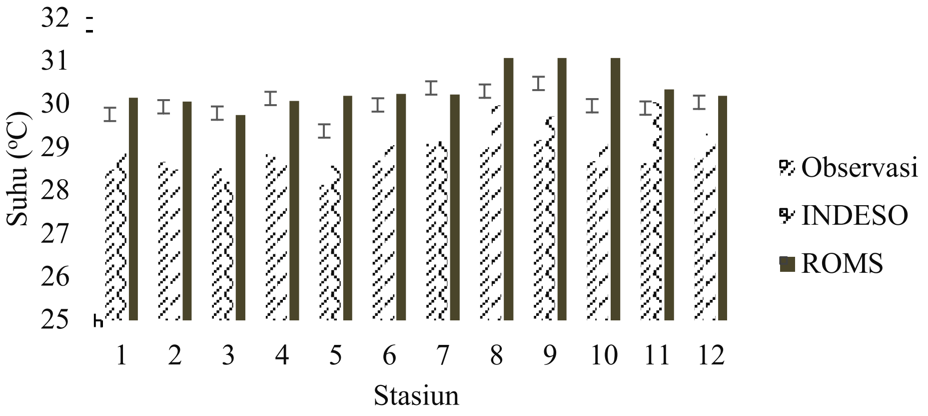
Metode *Continues Wavelet Transform* (CWT) (Torrence dan Compo 1998) digunakan untuk menghitung periodisitas arus dan volume transpor. Analisis wavelet bertujuan untuk menemukan frekuensi waktu atau distribusi periode waktu sepanjang sebuah deret waktu, yakni bagaimana kekuatan berubah. Analisis CWT diterapkan pada deret waktu dari volume transpor dalam transek AB seperti yang dijelaskan sebelumnya. Persamaan CWT diekspresikan sebagai berikut:

$$\omega C\,(\text{skala, posisi}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\,\psi(\text{skala, posisi}, t)\,dt \qquad (25)$$

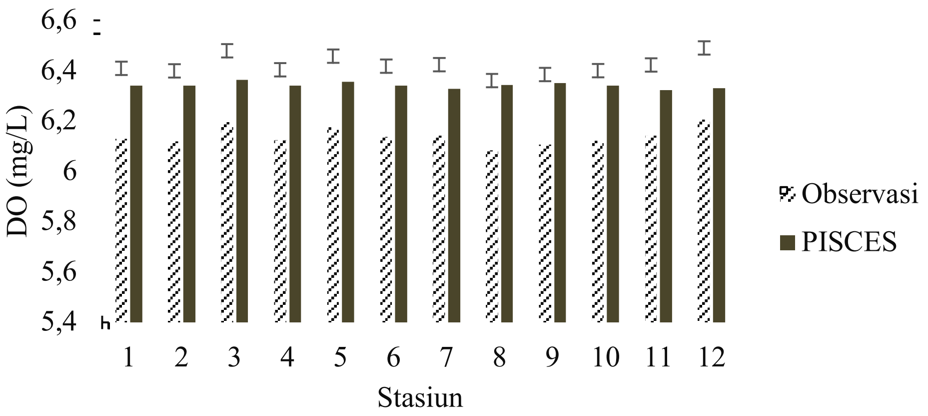
dimana C adalah koefisien wavelet, f(t) adalah data deret waktu, dan *ψ* adalah *mother wavelet*. Analisis CWT menggunakan wavelet sebagai band pass filter yang dikelompokkan dalam waktu dan skala sehingga η = s.t dan dinormalisasi dalam satuan energi.

Validasi Model

Model hidrodinamika ROMS dan INDESO divalidasi dengan menghitung standar deviasi dari data suhu model terhadap data suhu observasi (Gambar 4). Hasil validasi antara suhu INDESO dan observasi menunjukkan bahwa suhu masih di dalam rentang selang kepercayaan 95% dari observasi, sedangkan hasil validasi antara suhu ROMS hanya memiliki 50% data yang berada di dalam rentang selang kepercayaan. *Dissolved* Oxygen (DO) atau oksigen terlarut dari model biogeokimia PISCES juga divalidasi dengan data observasi (Gambar 5). Hasil validasi menunjukkan representasi yang tinggi dari data model yang berada di dalam selang kepercayaan 95% dari observasi. Hal ini menunjukkan bahwa data model dapat mewakili kondisi sebenarnya. Validasi model arus ROMS (Gambar 6) dan INDESO (Gambar 7) dilakukan dengan membandingkan pola arus model dengan pola arus hasil observasi. Perbandingan yang dilakukan pada kedalaman 10 meter di bulan Oktober dari masing-masing model menunjukkan pola arus yang serupa dengan hasil observasi.

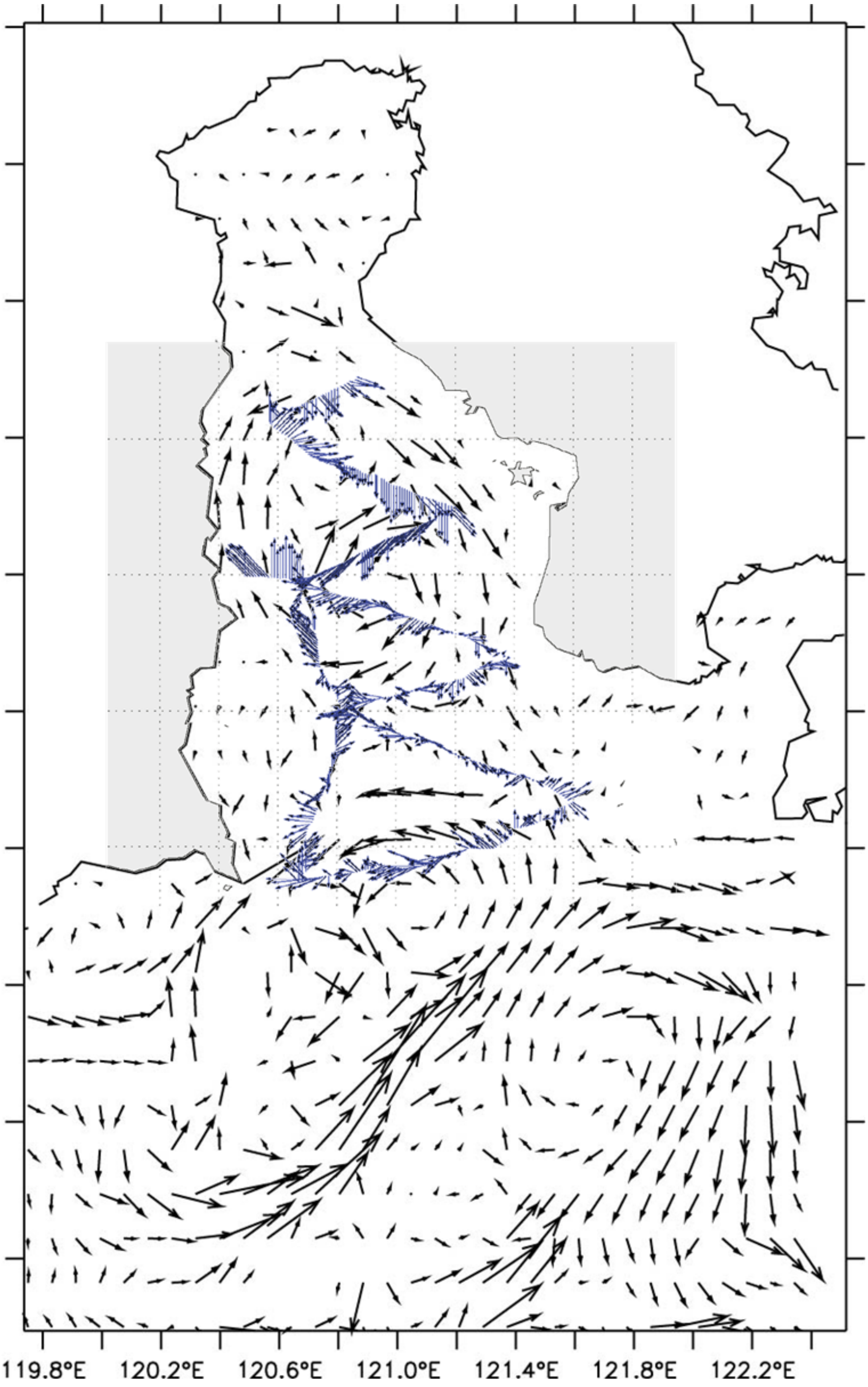


Gambar 4 Validasi suhu model INDESO, ROMS dan observasi pada kedalaman 1 meter. Data merupakan suhu pada bulan Oktober tahun ke-10 (model INDESO) dan tanggal 15-19 Oktober 2014 (model ROMS dan observasi) di Teluk Bone



Gambar 5 Validasi DO model PISCES dan observasi pada kedalaman 1 meter. Data merupakan DO pada tanggal 15-19 Oktober 2014 di Teluk Bone

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University — Bogor Indonesia —
Perpustakaan IPB University



Gambar 6 Perbandingan pola vektor arus model ROMS (panah berwarna hitam) dengan vektor arus hasil pengukuran SADCP (panah berwarna biru) di Teluk Bone. Masing-masing data merupakan arus di kedalaman 10 m pada bulan Oktober.

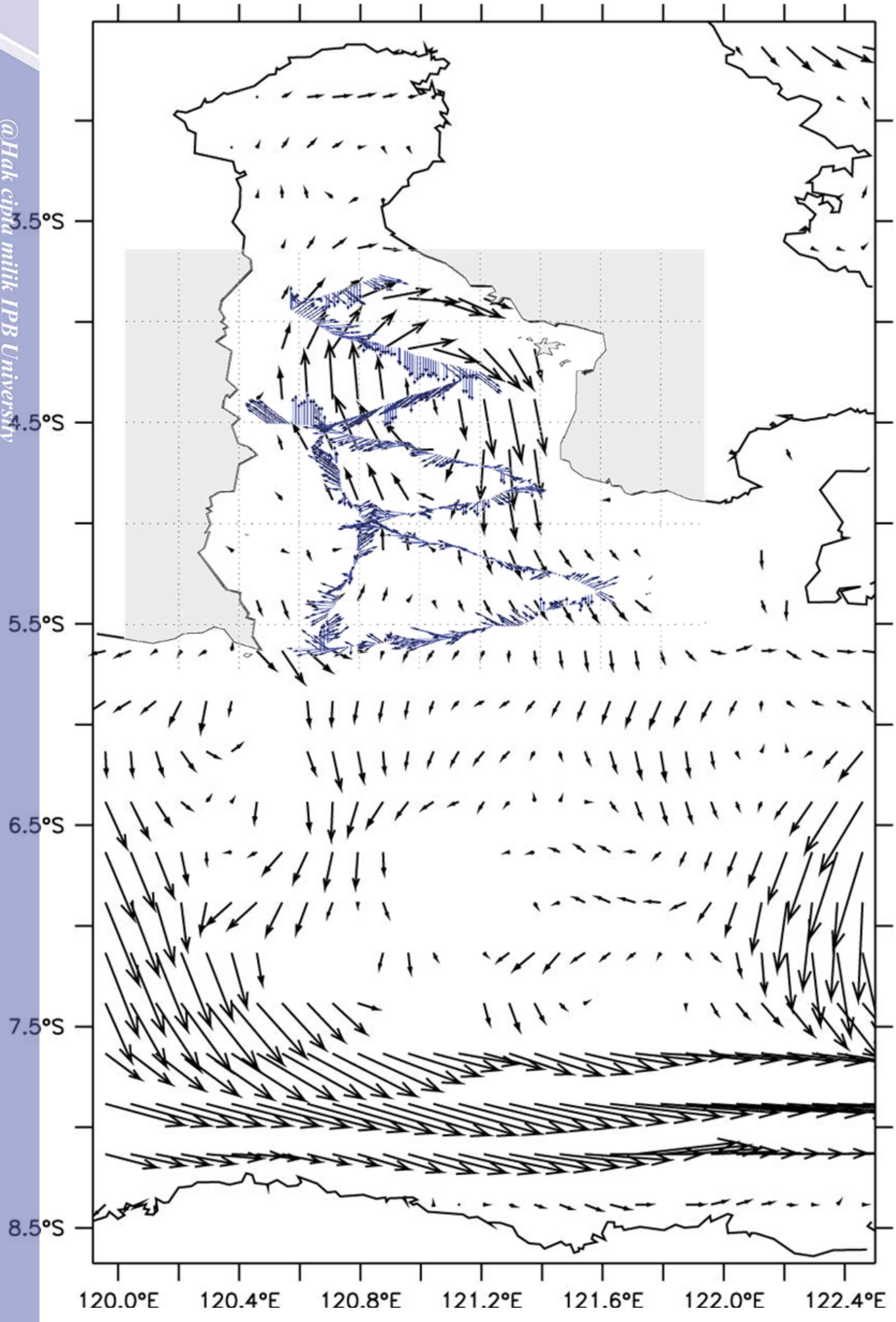
IPB University
Bogor Indonesia

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

IPB University

Perpustakaan IPB University



Gambar 7 Perbandingan pola vektor arus model INDESO (panah berwarna hitam) dengan vektor arus hasil pengukuran SADCP (panah berwarna biru) di Teluk Bone. Masing-masing data merupakan arus di kedalaman 10 m pada bulan Oktober.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

IPB University — Bogor Indonesia —

Perpustakaan IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Stratifikasi Massa Air Teluk Bone

Data yang dihasilkan dari observasi lapangan dievaluasi untuk menggambarkan karakteristik umum massa air Teluk Bone selama 15-19 Oktober 2014. Data dari CTD diekstraksi dan diplot menggunakan *Ocean Data View*. Struktur vertikal parameter oseanik yang relevan dibuat seperti yang ditunjukkan oleh distribusi salinitas pada Gambar 8 untuk melihat apakah ada pertukaran massa air dari luar ke dalam teluk dan sebaliknya (distribusi parameter lain ditampilkan pada Lampiran 3). Peningkatan salinitas secara jelas ditunjukkan dari titik A (stasiun di dalam teluk) menuju titik D (stasiun di mulut teluk), khususnya di permukaan hingga kedalaman 50 m. Salinitas masing-masing pada stasiun A berkisar antara 33.6 psu sampai 34.0 psu, stasiun B berkisar antara 33.5 psu sampai 34.2 psu, stasiun C berkisar antara 33.5 psu sampai 34.4 psu dan stasiun D berkisar antara 33.5 sampai 34.6 psu. Perubahan kedalaman tercampur terjadi sesuai dengan pola perubahan salinitas di kedalaman 50 meter ke atas, dimana pada stasiun A, profil salinitas cenderung homogen hingga kedalaman 25 m. Kemudian pada stasiun B hingga stasiun D, profil salinitas cenderung berubah secara tajam dari permukaan.

Profil horizontal (Gambar 9) menegaskan bahwa ada pola stratifikasi yang ditujukkan oleh parameter fisik dan kimia seperti salinitas di dalam teluk dan di mulut teluk bahkan sampai kedalaman 100 m, diikuti oleh fluktuasi parameter lain yaitu suhu dan DO. Selain salinitas, pola unik muncul pada klorofil-a yang terlihat cenderung lebih tinggi pada kedalaman 30 hingga 100 m, berbeda dengan bagian atas dan di bawah lapisan ini. pH, akan tetapi, lebih tinggi di tengah-tengah teluk. Penjelasan temuan ini akan dibahas bersama dengan hasil model.

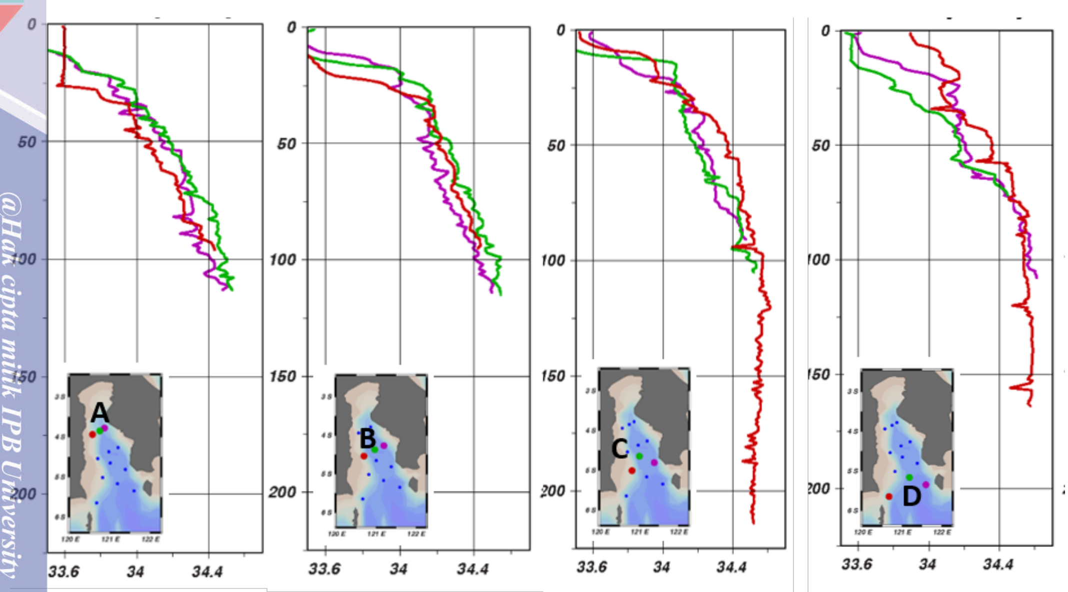
Distribusi parameter yang diambil dari pengamatan perlu dikaji faktor penyebabnya, maka parameter debit sungai yang bermuara di Teluk Bone menjadi pertimbangan dalam observasi lapangan. Hal ini ditunjukkan dalam sebuah penelitian oleh Bayhaqi *et al.* (2017) yang mengasumsikan bahwa perbedaan dalam properti fisik massa air di perairan Sulawesi Selatan, khususnya di sekitar Pulau Selayar yang terletak di mulut Teluk Bone, sangat dipengaruhi oleh faktor lokal yaitu curah hujan dan debit sungai. Data rata-rata harian debit sungai dari BPS pada tahun 2015 menandai adanya debit yang kuat dari sungai-sungai di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara yang mengalir ke Teluk Bone yang berkisar antara 2.4 hingga 144.7 m^3 s^{-1}. Sumber yang diketahui berasal dari Sungai Palakka, Sungai Kalamisu, Sungai Tangka, Sungai Aparang, Sungai Bungadidi dan Sungai L.Tamboh. Debit terbesar (144.7 m^3 s^{-1}) ditemukan di Sungai Tangka, Sinjai - Sulawesi Selatan yang memberikan paling banyak masukan air tawar ke Teluk Bone. Data lengkap mengenai debit air sungai yang bermuara di Teluk Bone diberikan di Lampiran 4.

IPB University — Bogor Indonesia —

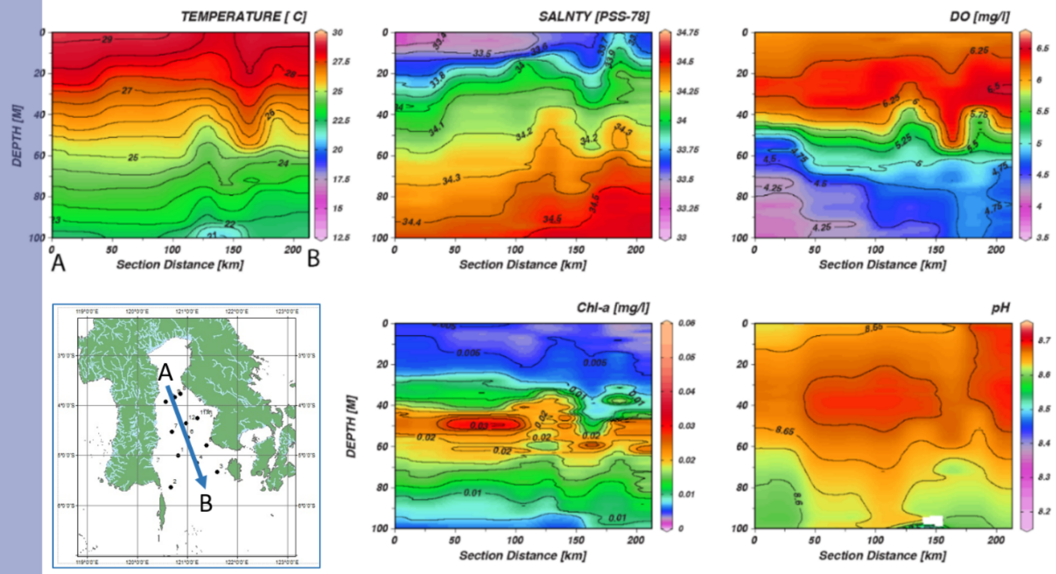
@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



Gambar 8 Struktur vertikal salinitas (PSU) di tiga stasiun dari dalam teluk (A) ke luar teluk (D) di Teluk Bone

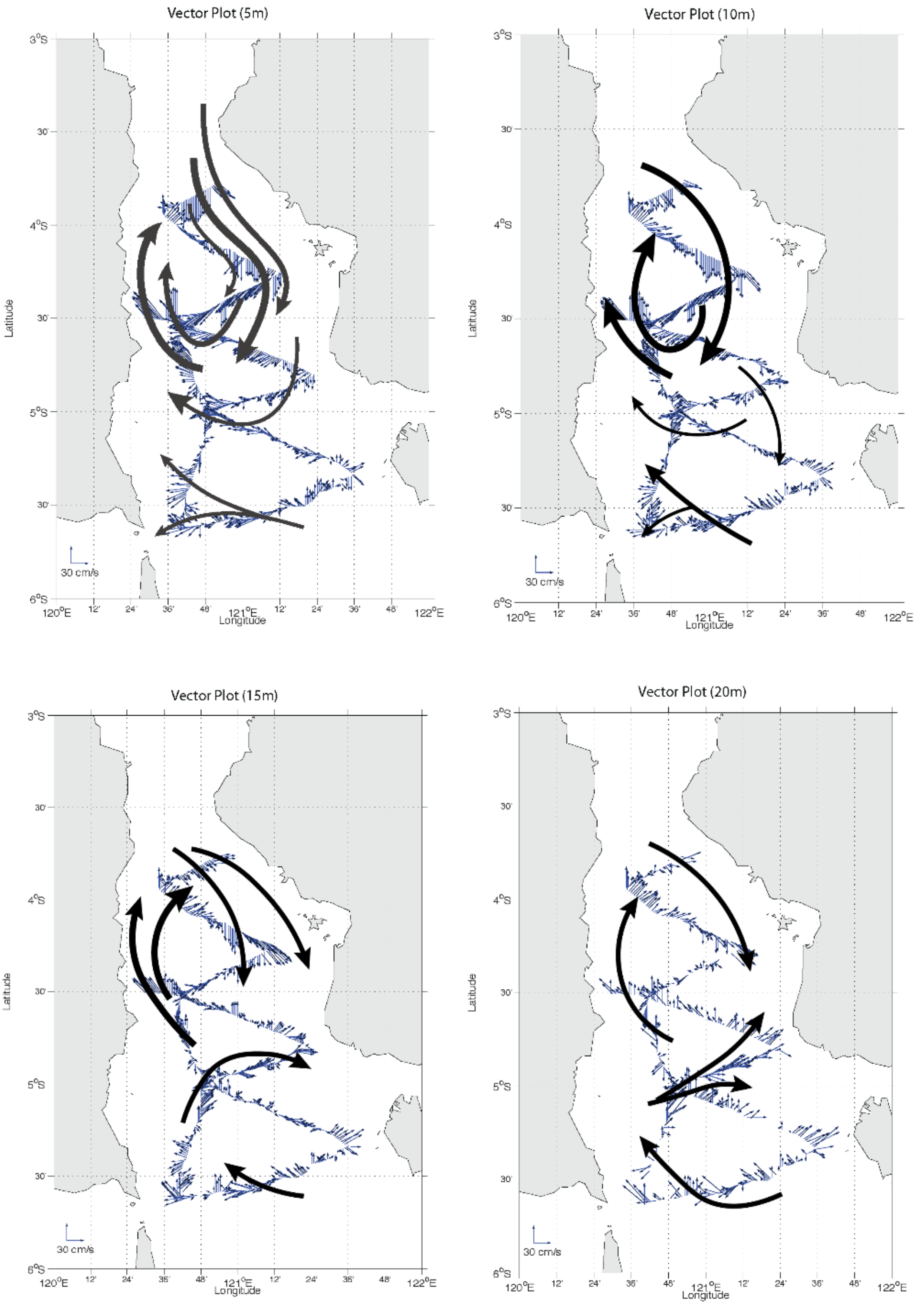


Gambar 9 Struktur horizontal parameter fisik dan kimia dari dalam teluk (A) ke luar teluk (B) di Teluk Bone

Dorongan atmosfer maupun oseanik yang kuat dapat berkontribusi pada pola sirkulasi dalam perairan semi-tertutup dan membentuk arus yang mendorong pertukaran air dengan lautan terbuka yang membawa salinitas yang lebih tinggi (Andrejev *et al.* 2004, Morgan dan Bishop 1977, Kämpf dan Sandrinasab 2006, Swift dan Bower 2003). Namun demikian, vektor arus selama pengamatan (Gambar 10) menunjukkan bahwa arus di permukaan memindahkan massa air secara dominan dari dalam teluk ke selatan dan mulai mengarah ke barat di tengah-tengah teluk. Defleksi ini berlanjut ke mulut teluk yang mengubah aliran kembali ke utara

IPB University

di sisi barat teluk dan membentuk *eddy*. Pola ini juga terlihat mirip ke lapisan bawah (10 m, 15 m dan kedalaman 20 m) dengan kecepatan yang lebih lemah.



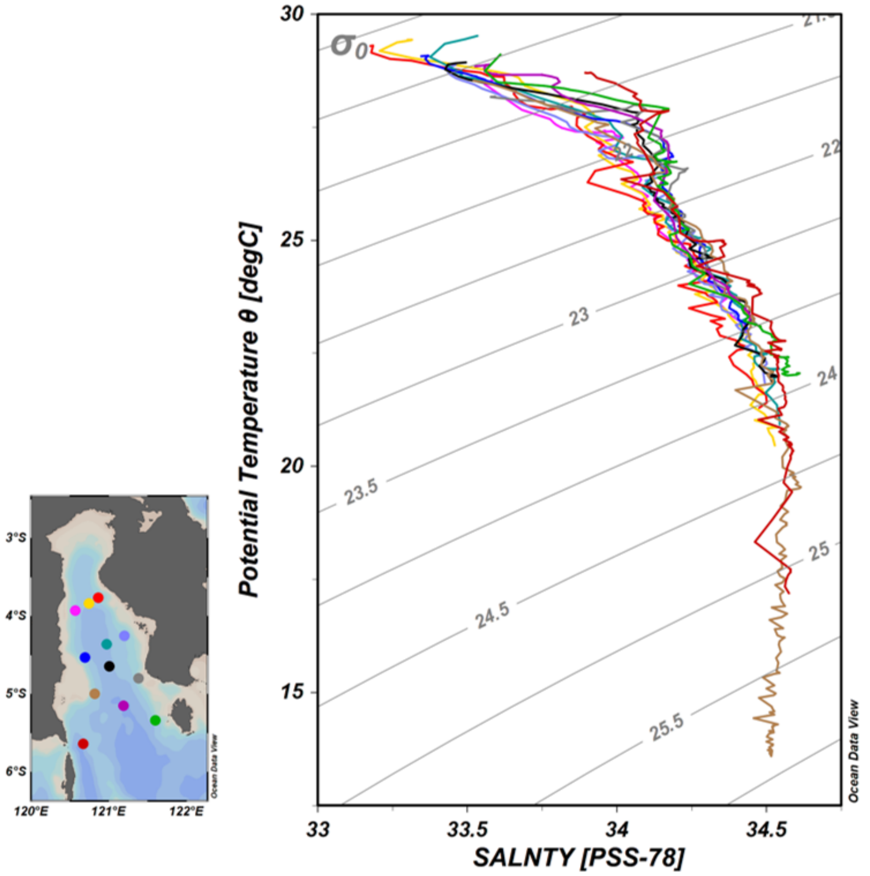
Gambar 10 Vektor arus pada 15-19 Oktober 2014 dari ADCP di beberapa kedalaman di Teluk Bone

IPB University — Bogor Indonesia —
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

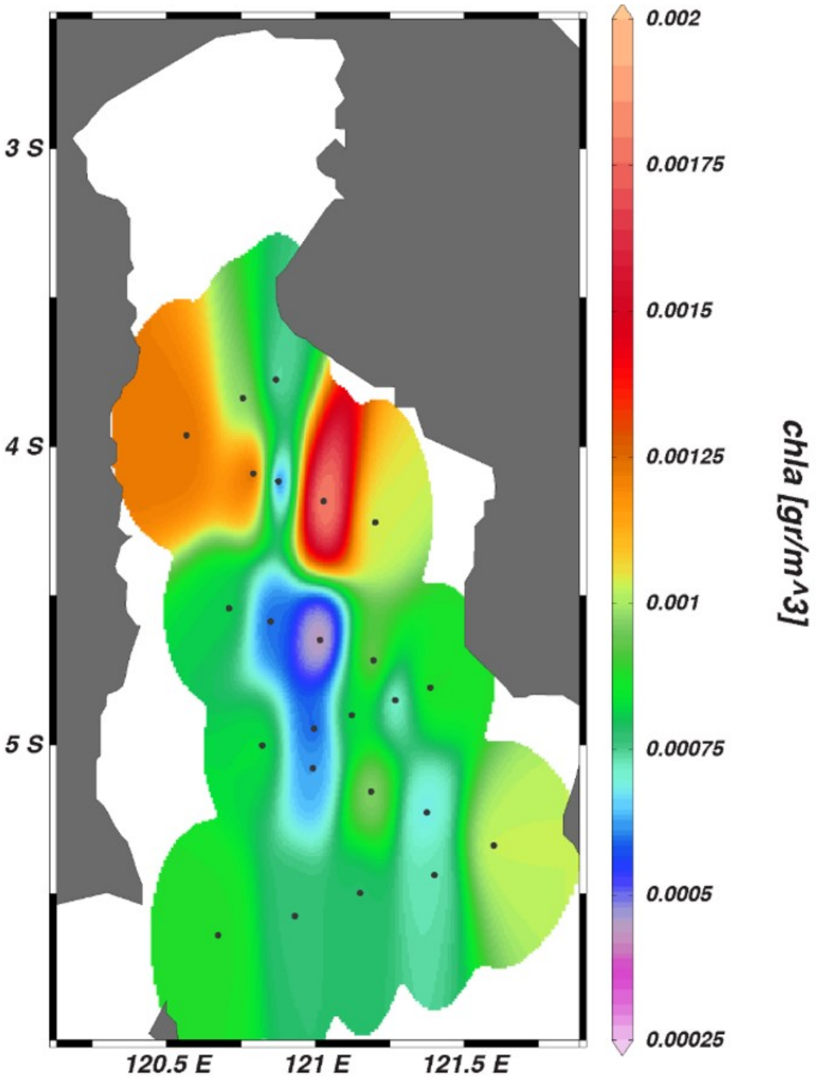
Arus yang cenderung membawa air ke luar teluk dan sedikit arus menggerakkan air kembali ke sirkulasi *eddy* mengindikasikan bahwa transpor massa air Laut Flores ke Teluk Bone terjadi secara lemah. Penempatan ekstrema dalam salinitas dan mengaitkannya dengan karakter massa air tertentu dapat menggambarkan jenis massa air menggunakan diagram Suhu-Salinitas (TS) (Emery 2003), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Massa air di semua stasiun memiliki salinitas mulai dari 33.2 hingga 34.6 PSU, dengan minimum salinitas di kurva TS adalah sekitar 29 ^{o}C.

Karakteristik massa air di Teluk Bone memperlihatkan kemiripan dengan karakteristik massa air di Laut Banda pada bulan Oktober yang dikaji oleh Firdaus (2018) dan karakteristik massa air di perairan selatan Sulawesi pada monsun tenggara pada bulan Juli-September oleh Atmadipoera (2009). Hal ini juga terkait dengan pergerakan massa air pada Musim Timur dimana ada dorongan dari massa air di Indonesia Timur (Laut Banda) ke arah Laut Flores sehingga struktur massa air Teluk Bone dapat diketahui berasal dari aliran massa air ARLINDO dari Selat Lifamatola dan mengalami penurunan nilai salinitas (Gordon *et al*. 1986) sampai Laut Banda. Gerakan fisik massa air, yang diwakili oleh vektor arus, selama pengamatan menguatkan analisis pada pola distribusi parameter fisik dan kimia. Angraeni *et al.* (2014) mengidentifikasi area front termal yang lebih sedikit di dalam Teluk Bone pada bulan Oktober memiliki biomassa ikan yang lebih rendah (diindikasikan oleh tangkapan cakalang) dibandingkan dengan bulan pengamatan lainnya.



Gambar 11 Diagram Suhu-Salinitas (TS) di semua stasiun di Teluk Bone

Analisis sampel air laut di 24 stasiun (Gambar 12) menunjukkan bahwa rata-rata klorofil-a adalah 8.6 x 10^{-5} gr m^{-3}. Nilai ini agak rendah karena ikan sebagian besar terkumpul di dalam Teluk Bone pada klorofil-a yang lebih tinggi, seperti yang ditemukan untuk ikan pelagis besar dari 2 sampai 4 x 10^{-4} gr m^{-3} (Safruddin *et al.* 2018a), untuk teri di 0.5-1 x 10^{-3} gr m^{-3} (Safruddin *et al.* 2018b) dan untuk ikan pelagis kecil pada 7-9 x 10^{-4} gr m^{-3} (Safruddin *et al.* 2018c) dari April hingga September 2017. Rentang klorofil-a ini adalah karakteristik air laut di Laut Flores (Zainuddin *et al.* 2013, Nababan *et al.* 2016, Zainuddin *et al.* 2017) dan ditemukan dalam periode tertentu di daerah ini, menunjukkan bahwa ada transpor massa air yang ditunjukkan oleh fluktuasi waktu dari parameter ini di Teluk Bone. Secara spasial, distribusi klorofil-a terlihat memiliki variasi dimana nilai klorofil-a tinggi di bagian dalam Teluk Bone dan rendah di bagian luarnya. Namun, pola distribusi ini juga tidak menggambarkan karakteristik klorofil-a secara sinoptik. Maka, diperlukan pengkajian distribusi parameter oseanografi (fisik dan biogeokimia) dalam variasi spasial dan temporal yang lebih luas dari hasil model.



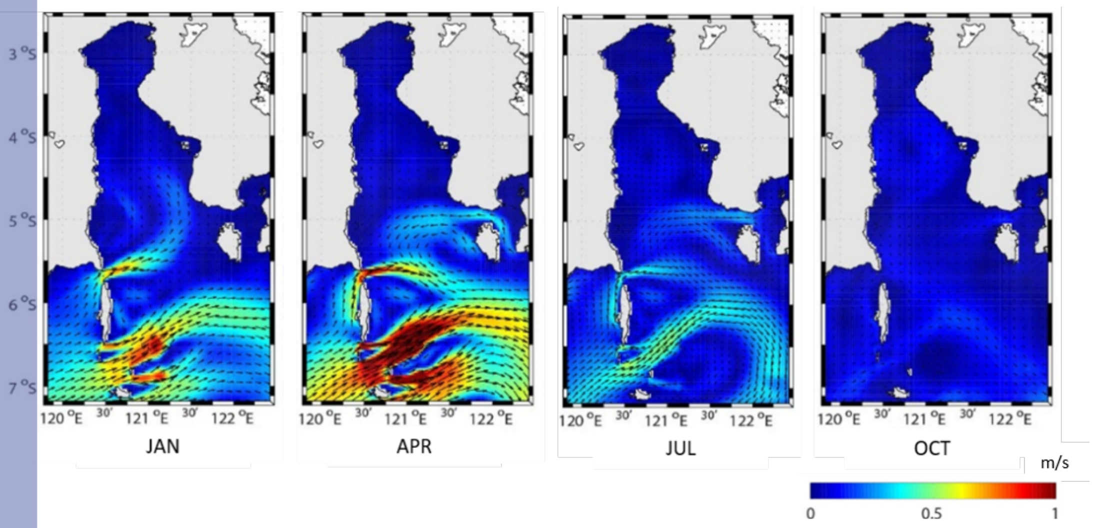
Gambar 12 Distribusi klorofil-a permukaan di Teluk Bone

IPB University — Bogor Indonesia
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

Pola Sirkulasi Laut

Analisis kedua diterapkan pada hasil keluaran ROMS yang disimulasikan selama 10 tahun secara klimatologi, kemudian data tahun ke-10 diambil untuk dianalisis. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran sinoptik dan mendapatkan lebih banyak deskripsi yang belum dijelaskan oleh data observasi lapangan. Misalnya, hasil model (Gambar 13) menunjukkan perbedaan yang jelas saat awal Musim Barat, ditandai dengan kecepatan arus tertinggi di Musim Peralihan II. Selama musim tersebut, arus kuat muncul dari arah barat yang memungkinkan massa air dari sisi selatan Teluk Bone memasuki teluk. Arus kuat ini diidentifikasi sebagai Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) yang melewati Laut Flores dengan Selat Makassar sebagai jalur utamanya (Fan *et al.* 2018, Sprintall *et al.* 2014, Sprintall *et al.* 2009, Atmadipoera dan Widyastuti 2014). Arus permukaan dari model pada bulan Oktober menegaskan pola yang telah dibahas dalam bab sebelumnya. Arus permukaan memiliki kecepatan lemah yang menunjukkan bahwa hanya ada pergerakan kecil massa air ke dalam teluk pada bulan ini atau periode Musim Peralihan II. Menurunnya kecepatan arus dimulai selama Musim Timur atau pada bulan Juli.

Kecepatan arus ARLINDO di Selat Makassar biasanya lebih kuat selama Musim Timur (Juli hingga September) dengan kecepatan maksimum -0.8 m/s di kedalaman mendekati 120 m dan menurun selama transisi ke Musim Barat (Susanto *et al.* 2012). Propagasi air tawar di permukaan ke arah timur dari Timur Laut Jawa ke Laut Flores dan Laut Banda terjadi dari bulan November hingga Mei, sebelum mencapai pintu keluar ARLINDO (Atmadipoera *et al.* 2009). Hal ini mendorong arus yang kuat dari Selat Makassar untuk melewati pulau-pulau kecil di sisi selatan Teluk Bone, mengarahkan massa air masuk ke Teluk Bone.



Gambar 13 Arus di kedalaman 10 m pada simulasi tahun ke-10. Gambar ditampilkan berdasarkan bulan yang mewakilkan musim, Januari (JAN) untuk Musim Barat, April (APR) untuk Musim Transisi I, Juli (JUL) untuk Musim Timur dan Oktober (OCT) untuk Musim Transisi II

@Hak cipta milik IPB University
IPB University — Bogor Indonesia —
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University
IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

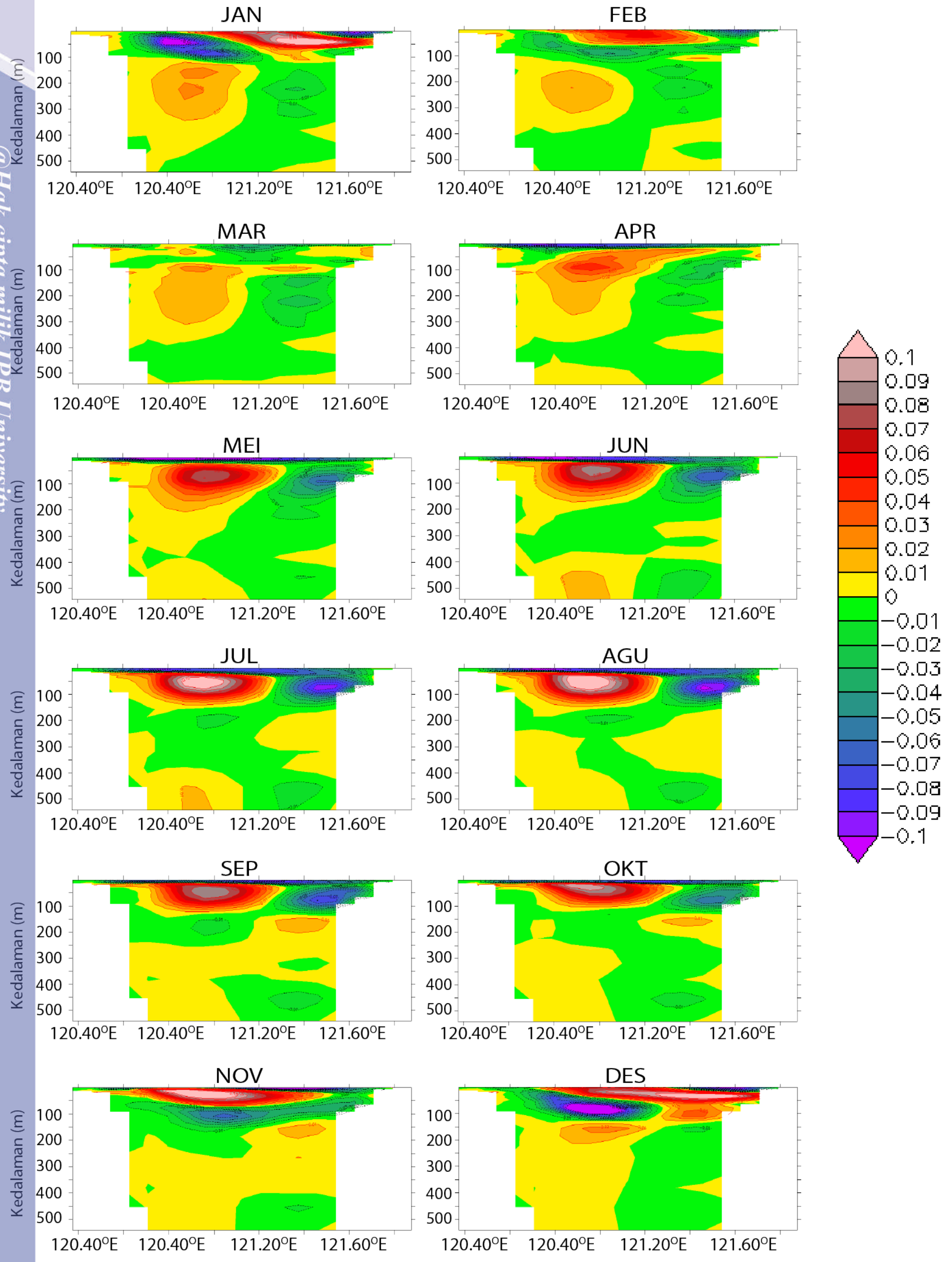
Kecepatan angin tenggara terbentuk sementara itu dari bulan Juni hingga Oktober, sehingga ARLINDO lebih kuat terjadi di Selat Makassar seperti yang ditunjukkan oleh penelitian Atmadipoera dan Widyastuti (2014), mendorong sebagian besar massa air untuk disirkulasikan kembali ke jalur ARLINDO dengan sejumlah kecil sirkulasi tersebut mengalir ke Selat Selayar dan membentuk *eddy* di Selatan Selat Makassar. Putriani (2018) juga menemukan variabilitas musiman sirkulasi massa air di permukaan Laut Flores dimana massa air di Musim Barat cenderung bergerak ke arah timur dengan membawa massa air yang hangat, sedangkan massa air di Musim Timur bergerak ke arah barat dan mendorong massa air ARLINDO sehingga terjadi resirkulasi di Laut Flores.

Penampang memotong transpor meridional (Gambar 14) menunjukkan adanya aliran dengan penguatan maksimal ke utara dan selatan pada kedalaman di atas 150 meter. Arah aliran yang kuat ini bervariasi berdasarkan kedalaman menurut waktu. Transpor ke utara (ke dalam teluk) ditemukan muncul di sisi barat teluk pada bulan April hingga Oktober di kedalaman di bawah 30 meter, sebaliknya pada bulan tersebut transpor ke selatan (ke luar teluk) ditemukan di permukaan dan di sisi timur teluk. Aliran yang sangat kuat ke arah utara terjadi di bulan Mei-Januari dengan kecepatan mencapai 0.1 m/s, dan melemah pada bulan Februari-April. Aliran yang sangat kuat ke arah selatan terjadi di bulan Juni hingga Agustus dengan kecepatan mencapai -0.1 m/s, dan melemah pada bulan September hingga November.

Perubahan arah transpor terjadi mulai bulan November hingga bulan Januari, di mana transpor ke arah utara muncul di sisi timur teluk dan transpor ke arah selatan muncul di sisi barat teluk. Aliran semakin melemah pada bulan Februari dan bulan Maret dan mulai menguat di permukaan pada bulan April. Hal ini disebabkan oleh peralihan musim dari musim barat menjadi musim timur yang menyebabkan perubahan arah arus di perairan Teluk Bone dan sekitarnya. Munculnya arah transpor ke arah utara di sisi timur teluk yang berbelok ke selatan di sisi barat teluk mengindikasikan adanya pusaran *eddy* anti-siklonik pada musim barat (November-Januari) di dalam Teluk Bone, sedangkan munculnya arah transpor ke arah utara di sisi barat teluk yang berbelok ke selatan di sisi timur teluk mengindikasikan adanya pusaran *eddy* siklonik pada musim timur (Juni-Agustus) dan musim peralihan II (September-Oktober) di dalam Teluk Bone.

Penelitian ini juga menerapkan penapisan data *low-pass* pada *time series* transpor meridional untuk menghapus komponen frekuensi tinggi yang tidak diinginkan. Data ditapis selama 31 hari sebelum dirata-ratakan secara klimatologi (Gambar 15). Transpor massa air dari perhitungan keluaran INDESO tahun 2008-2011 pada transek AB menunjukkan kisaran fluktuasi transpor antara -1.18 Sv hingga 0.41 Sv, dengan rerata transpor sekitar -0.12 Sv dan simpangan baku sekitar 0.27 Sv. Secara umum, transpor pada transek AB lebih dominan ke arah selatan yang ditunjukkan dengan tanda negatif. Rata-rata transpor ke arah utara adalah sebesar 0.11 Sv dan rata-rata transpor ke selatan adalah sebesar -0.28 Sv. Arah transpor ini mengindikasikan adanya defisit di permukaan air karena pergerakan massa air ke selatan. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya *upwelling* atau naiknya massa air dari laut yang lebih dalam ke permukaan air.

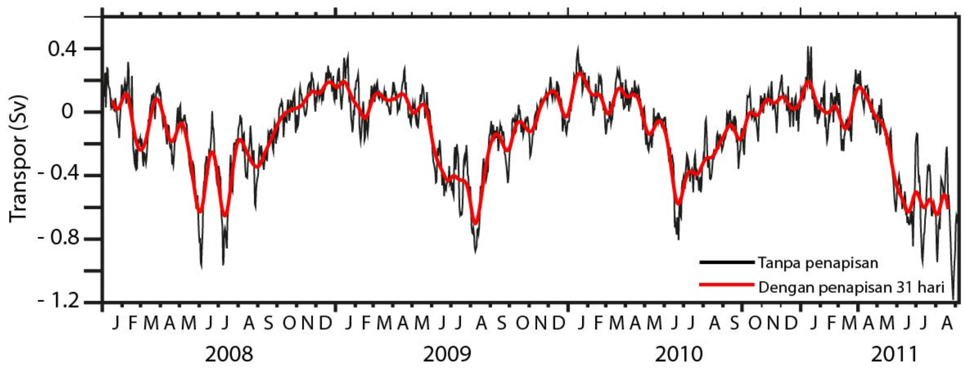
IPB University
— Bogor Indonesia —
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University
IPB University



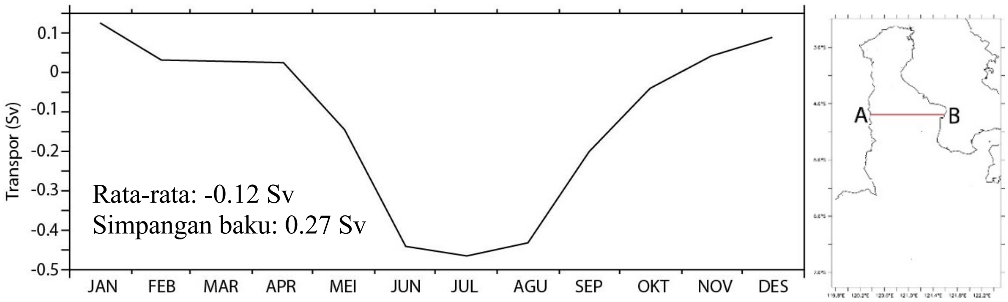
Gambar 14 Penampang memotong transpor pada Transek AB dari 1 Januari 2008 hingga 4 September 2011 yang dihitung secara klimatologi

Transpor komponen meridional secara klimatologi menunjukkan pola musiman ditandai dengan transpor massa air ke arah selatan (ke luar teluk) pada bulan April hingga Oktober, sedangkan massa air pada bulan November hingga Maret menunjukkan transpor ke utara (ke bagian dalam teluk). Hasil CWT transpor meridional menunjukkan variabilitas intra musiman di sepanjang tahun 2008 dan akhir tahun 2011 dengan intensitas di atas 0.6, seperti yang ditunjukkan oleh kotak merah pada Gambar 16. Variabilitas ini juga muncul dengan intensitas 0.4-0.5 di pertengahan tahun 2009 hingga pertengahan tahun 2010. Beberapa faktor yang

memungkinkan pola variabilitas ini diantaranya fluktuasi angin monsun yang mempengaruhi transpor pada lapisan permukaan (Gordon *et al*. 1994) dan osilasi Madden-Julian (MJO) seperti yang dikaji oleh Balbeid *et al.* (2015) di Laut Banda, atau adanya pengaruh remote forcing dari angin. Variabilitas tahunan juga muncul di sepanjang tahun dengan intensitas yang tinggi di pertengahan tahun 2008 hingga akhir tahun 2011. Variabilitas ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Atmadipoera dan Hasanah (2017) yang mengkaji transpor ARLINDO di Laut Flores.

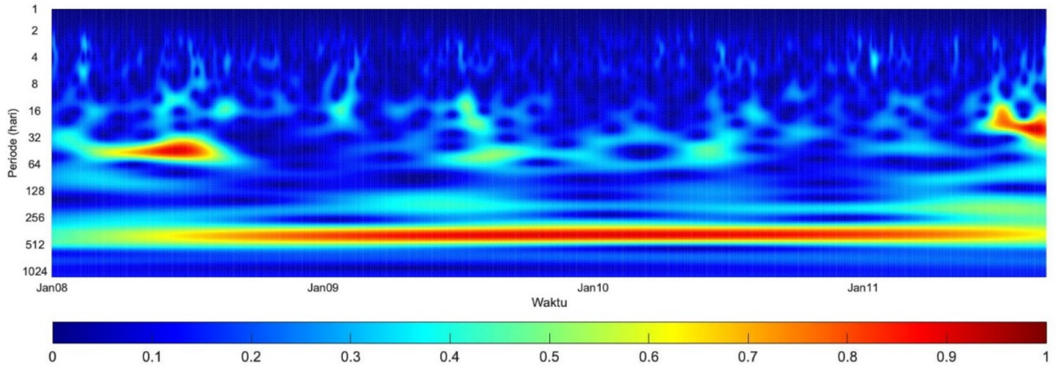


(a)



(b)

Gambar 15 Deret waktu: (a) volum transpor harian di transek A-B dari 1 Januari 2008 hingga 4 September 2011 di Teluk Bone dan (b) rataan bulanan volum transpor (klimatologi)

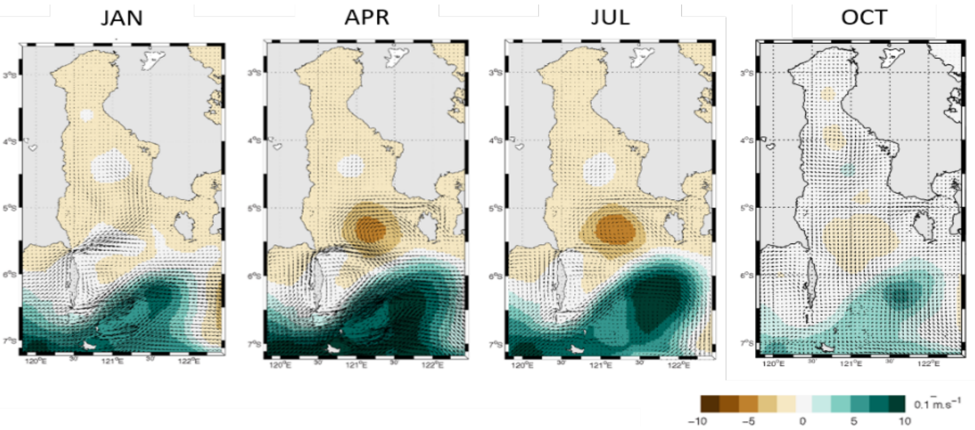


Gambar 16 Hasil analisis CWT dari volum transpor hasil penapisan 31 hari di transek A-B di Teluk Bone pada Gambar 2a. Kotak merah menandai sinyal terkuat yang muncul.

IPB University — Bogor Indonesia
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
Perpustakaan IPB University
IPB University

Keluaran model transpor (Gambar 17) menunjukkan adanya pertukaran massa air yang ditemukan pada bulan Januari (Musim Barat) ketika massa air mengalir ke bagian dalam teluk. Topografi Teluk Bone memainkan peran untuk mengumpulkan massa air di mulut teluk dan membentuk *eddy* siklonik di tengah *eddy* yang mendorong massa air ke arah selatan pada bulan April (Musim Peralihan I). *Eddy* siklon ditemukan di daerah saat transportasi massa air terakumulasi di daerah Basin Bone. Transportasi air ke utara melemah pada bulan Oktober yang sesuai dengan hasil observasi bahwa sebagian besar massa air mengalir ke selatan selama bulan ini, namun transpor yang kecil masih berada di daerah basin. Maka, ada indikasi bahwa Basin Bone merupakan bagian penting untuk pertukaran massa air antara Teluk Bone dan Laut Flores.

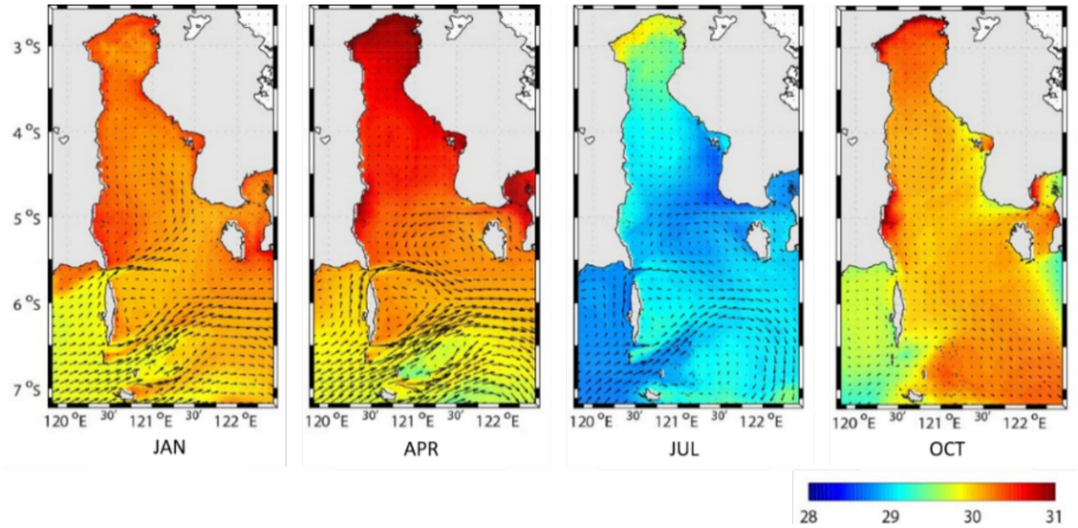


Gambar 17 Transpor (Sv) di kedalaman 10 m pada simulasi tahun ke-10 berdasarkan bulan yang mewakilkan musim, Januari (JAN) untuk Musim Barat, April (APR) untuk Musim Transisi I, Juli (JUL) untuk Musim Timur dan Oktober (OCT) untuk Musim Transisi II

Distribusi Produktivitas Primer

Sebaran Faktor dan Organisme Penggerak Produktivitas Perairan

Suhu Permukaan Laut (SPL) adalah salah satu parameter oseanografi utama untuk mempelajari distribusi produktivitas primer air laut. Secara spasial, SPL cenderung lebih rendah di luar teluk dibandingkan dengan SPL di bagian dalam teluk. Siklus suhu musiman (Gambar 18) menandai tingginya variasi SPL selama Musim Barat ke Musim Peralihan I dan variasi rendah SPL selama Musim Timur ke Musim Peralihan II. Pola dalam bulanan (tidak termasuk dalam makalah ini) menunjukkan bahwa nilai SPL meningkat dari Oktober hingga Mei dan menurun pada bulan Juni hingga Agustus. SPL pada bulan Oktober dari model sekitar 30 ºC yang sesuai dengan hasil observasi. Hasil ini sesuai dengan penelitian oleh Zainuddin *et al.* (2017) yang menemukan bahwa SPL mencapai puncaknya pada bulan November-Desember dan kembali rendah ke pada bulan Juli dan Agustus. Keragaman SPL yang ditemukan di daerah ini diasumsikan terjadi sebagai dampak dari angin monsun yang bertiup di atas Sulawesi Selatan (Nababan *et al.* 2016) dan mempengaruhi variabilitas Chl-a.



Gambar 18 Suhu (^{o}C) di kedalaman 10 m pada simulasi tahun ke-10. Gambar ditampilkan berdasarkan bulan yang mewakilkan musim, yakni Januari (JAN) untuk Musim Barat, April (APR) untuk Musim Transisi I, Juli (JUL) untuk Musim Timur dan Oktober (OCT) untuk Musim Transisi II di Teluk Bone

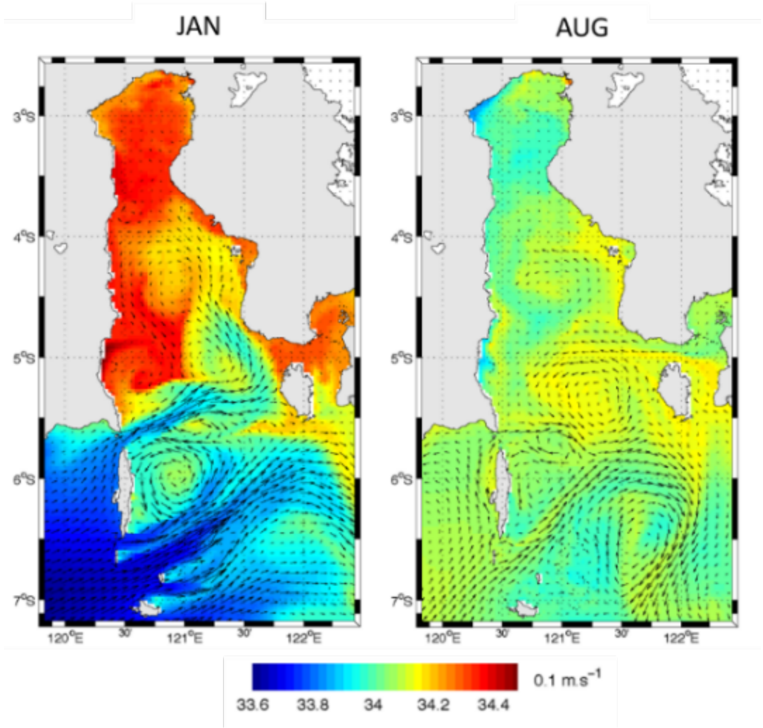
Hal yang sama ditunjukkan oleh salinitas yang bervariasi antara Musim Timur dan Musim Barat (Gambar 19). Salinitas di Musim Barat diwakili pada bulan Januari tinggi, di dalam teluk, tetapi rendah di luar teluk. Salinitas di Musim Timur diwakili pada bulan Agustus cenderung seragam atau memiliki nilai dengan kisaran sempit, baik di dalam maupun di luar teluk. Perbedaan salinitas antara dua musim ini diduga akibat arus kuat dari Laut Jawa selama Musim Barat (Atmadipoera *et al.* 2009) yang mendorong massa air dari laut terbuka dengan salinitas tinggi menuju ke timur, memasuki bagian dalam teluk, sedangkan massa air lebih tawar dari Laut Jawa mengalir ke bagian timur Sulawesi maka air di luar teluk memiliki lebih sedikit salinitas. Mekanisme ini didorong oleh angin monsun Barat Laut dari Desember hingga Februari. Dalam penampang vertikal, salinitas pada bulan Januari lebih tinggi pada lapisan yang lebih dalam (100 - 250 m), tetapi salinitas pada bulan Agustus lebih tinggi di permukaan.

Secara keseluruhan, variasi organisme penggerak sebaran parameter produktivitas primer (Gambar 20) menyerupai pola konsentrasi Chl-a dengan nilai terendah ditemukan selama Musim Timur di dalam Teluk Bone. Sebaran spasial siklus musiman fitoplankton (Gambar 20b) menunjukkan bahwa fitoplankton lebih tinggi di daerah tenggara pada bulan Januari, sementara pada bulan Agustus lebih tinggi di daerah barat daya. Zooplankton, detritus dan fitoplankton secara umum lebih tinggi di dalam teluk pada bulan Januari. Sebagaimana dibahas dalam bab sebelumnya, air laut dibawa ke dalam teluk pada bulan Januari dan membentuk *eddy* karena keberadaan cekungan di mulut teluk.

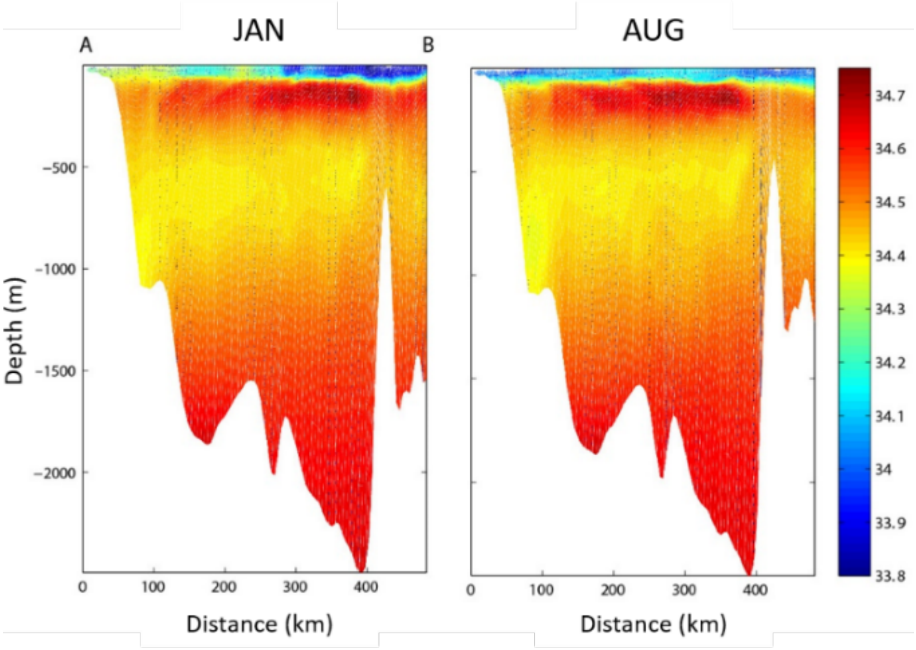
Beberapa studi oseanografi telah menemukan bahwa distribusi dan kelimpahan ikan terkait dengan *front* samudra dan pusaran, yaitu Royer *et al*. (2004) di Laut Mediterania, Palacios *et al.* (2006) di Pasifik Utara dan Zainuddin *et al.* (2017) di Teluk Bone - Laut Flores. Pola arus juga sesuai dengan distribusi fitoplankton, zooplankton dan detritus yang mengindikasikan bahwa keberadaan organisme penggerak produktivitas perairan di dalam Teluk Bone dibawa melalui

IPB University — Bogor Indonesia —
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

transpor massa air dari luar teluk sehingga dapat mendorong perairan dengan nutrisi tinggi mengalir ke Teluk Bone.



(a)



(b)

Gambar 19 Salinitas (PSU): a) di kedalaman 10 m dan b) penampang vertikal pada simulasi tahun ke-10. Gambar ditampilkan berdasarkan bulan yang mewakilkan musim, yakni Januari (JAN) untuk Musim Barat dan Agustus (AUG) untuk Musim Timur di Teluk Bone

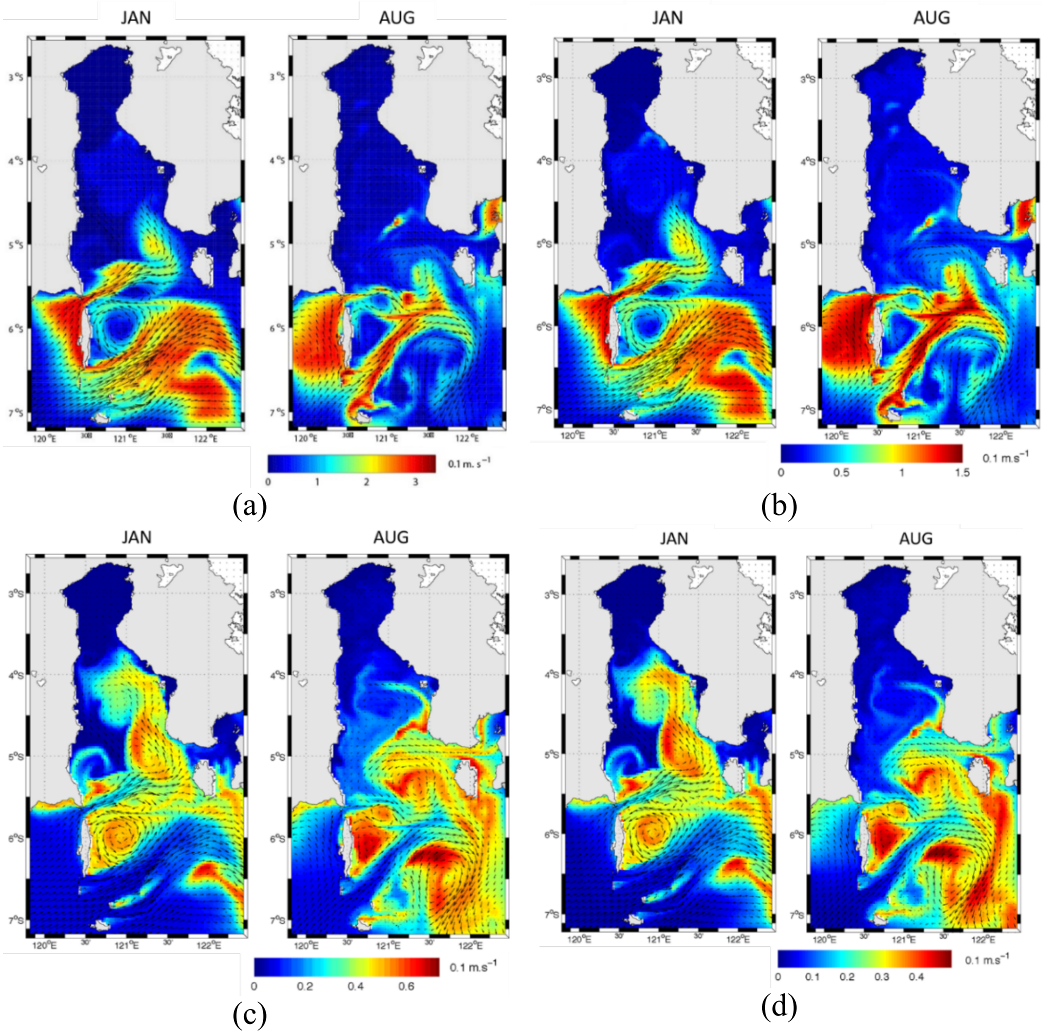
IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Perpustakaan IPB University



Gambar 20 Distribusi parameter biogeokimia di kedalaman 10 m: a) Chl-a (mg m^{-3}), b) phytoplankton (mmol Nm^{-3}), c) zooplankton (mmol Nm^{-3}) dan d) detritus (mmol Nm^{-3}). Gambar ditampilkan berdasarkan bulan yang mewakilkan musim, yakni Januari (JAN) untuk Musim Barat dan Agustus (AUG) untuk Musim Timur di Teluk Bone

Fluktuasi Temporal Nutrien dan Produktivitas Primer

Pemahaman mengenai distribusi nutrien merupakan perihal yang penting untuk dapat menguraikan proses produktivitas primer. Distribusi nutrien dan pola produksi biologis di laut dikendalikan oleh interaksi proses fisik dan biogeokimia, serta sumber eksternal (Williams dan Follows 2003). Oleh karena itu, analisis terhadap pola nutrien dari hasil keluaran model PISCES dilakukan untuk melihat dampak dari transpor massa air terhadap produktivitas primer di Teluk Bone. Secara garis besar, pola nutrien dari hasil keluaran model PISCES (Gambar 21) menunjukkan adanya kemiripan di dalam teluk dan di luar teluk. Pola yang berbeda ditunjukkan oleh Fe, nitrat, dan silikat terlarut dimana ketiga parameter ini memiliki nilai yang lebih tinggi di dalam teluk dibandingkan di luar teluk. Sebaliknya, parameter fosfat memiliki nilai yang lebih tinggi di luar teluk dibandingkan di dalam teluk.

@Hak cipta milik IPB University
IPB University Bogor Indonesia
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University
IPB University

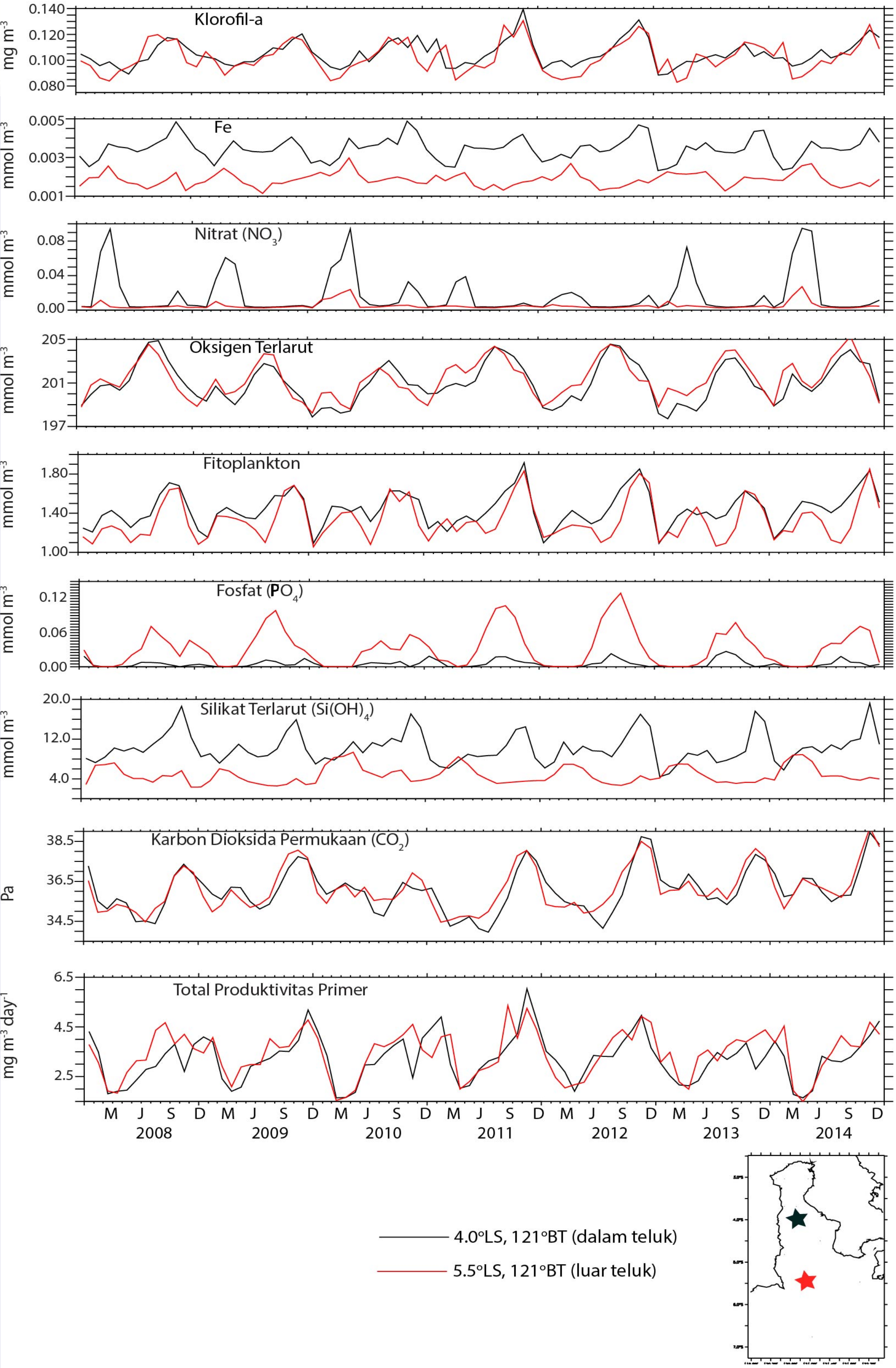
Produktivitas primer yang ditunjukkan oleh Gambar 21 memperlihatkan adanya pola musiman. Puncak tertinggi dari produktivitas primer ditemukan pada bulan September-Desember dan terendah ditemukan pada bulan Maret-Mei. Pola ini mengikuti pola fitoplankton dan klorofil-a serta nutrien lainnya. Bristow *et al.* (2017) menyatakan bahwa pertumbuhan fitoplankton sebagai produser bahan organik dalam produktivitas primer didukung oleh daur ulang nutrien atau reintroduksi nutrien melalui proses percampuran.

Pola musiman yang muncul pada produktivitas primer mengindikasikan adanya pengaruh dinamika perairan terhadap distribusi biogeokimia dan nutrien. Hal ini sesuai dengan pola CO_2 dan PO_4 yang ditunjukkan oleh Gambar 21 yang menyerupai dengan pola produktivitas primer. Sigman dan Hain (2012) menyebutkan bahwa ketersediaan karbon, nitrogen, fosfor, unsur besi dan silika merupakan faktor penting dalam produktivitas primer di laut. Fitoplankton bergantung kepada fiksasi CO_2 yang terbatas pada permukaan laut (zona *euphotic*), dimana proses fisik yang memiliki pola musim seperti angin monsun sangat berpengaruh. Akan tetapi, CO_2 tidak membatasi pertumbuhan fitoplankton karena konsentrasinya yang tinggi pada air laut.

Pembatas produktivitas primer di laut adalah nutrien dikarenakan kandungannya yang sedikit pada sebagian besar permukaan air, salah satunya adalah PO_4. Fosfat menurut rasio Redfield (106C:16N:1P) merupakan salah satu nutrien utama dalam produktivitas primer di laut (Conkright *et al.* 2000). Pola PO_4 yang ditunjukkan oleh Gambar 21 memperlihatkan adanya *lag* dari efek peningkatan atau penurunan PO_4 terhadap total produktivitas primer. Sebagai contoh, puncak peningkatan PO_4 pada tahun 2011 yang terjadi pada bulan Agustus diikuti dengan peningkatan total produktivitas primer pada bulan November. Pola ini juga mengikuti pola musiman yang terjadi di wilayah Teluk Bone. Menurut Dutkiewicz S *et al.* (2005), variabilitas musiman dari PO_4 yang terjadi di daerah tropis dapat berasosiasi dengan Zona Konvergensi Antar-Tropis (*Inter-Tropical Convergence Zone* (ITCZ)), yang mempengaruhi tutupan awan dan pola presipitasi. Faktor pembatas produktivitas lainnya yaitu nitrat (NO_3) memiliki puncak yang sangat tinggi di tahun 2008-2010 dan 2013-2014.

Sumber utama DFe di laut adalah debu dari pasir yang dibawa oleh angin dan terdeposisi ke dalam perairan (Moore dan Braucher 2007). Sehingga perubahan dan intensitas angin sangat berperan dalam distribusi DFe di perairan. DFe diketahui sebagai salah satu nutrien pembatas yang mengendalikan produksi biologis di wilayah Nitrat Tinggi, Klorofil Rendah (*High Nitrate, Low Chlorophyll*/HNLC) (Morel dan Price 2003, Barbeau 2006). Pendekatan model memperkirakan pembatasan pertumbuhan komunitas oleh DFe sebesar lebih dari ~30-50% laut di dunia (Moore *et al.* 2002, 2004, Aumont *et al.* 2003, Dutkiewicz *et al.* 2005).

IPB University — Bogor Indonesia —
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University
@Hak cipta milik IPB University
IPB University



Gambar 21 Deret waktu produktivitas primer dan parameter biogeokimia hasil keluaran model PISCES tahun 2008-2014 pada permukaan di Teluk Bone

@Hak cipta milik IPB University

IPB University — Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

IPB University

Proses biologi dan kimia menyebabkan transformasi nutrien antara bentuk organik dan anorganik, juga antara bentuk terlarut dan partikulat. Kemudian, proses fisik mendistribusikan nutrien di kolom perairan melalui transpor dan percampuran. Williams dan Follows (2003) menyebutkan bahwa proses skala kecil seperti sirkulasi *gyre*, *eddies*, dan *fronts* juga berperan signifikan. Sebagian besar nutrien memiliki suplai terbatas pada deposisi atmosferik dan input pesisir dan sungai. Proses-proses yang berbeda di laut juga mengontrol ketersediaan nutrien untuk fitoplankton (Sigman dan Hain 2012). Mekanisme transpor dapat mendistribusikan massa air ke berbagai wilayah sehingga memungkinkan penyebaran nutrien yang terkandung dalam massa air ke suatu perairan untuk digunakan oleh fitoplankton.

4 SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Teluk Bone memiliki kelimpahan ikan yang tinggi dan memiliki posisi yang strategis secara fisik yang berbatasan dengan Laut Flores yang dilintasi ARLINDO dan memiliki pengaruh musim. Karakteristik fisik dan biogeokimia seperti SPL dan klorofil-a memiliki korelasi dengan kelimpahan ikan di Teluk Bone. Pola sirkulasi laut Teluk Bone yang diperlihatkan oleh arus menunjukkan adanya pembentukan *eddy* di tengah teluk dari utara ke selatan dan mengalami resirkulasi siklonik. Hasil pemodelan arus menunjukkan adanya kontribusi arus dari luar teluk menuju bagian dalam teluk. Pola arus menunjukkan adanya pengaruh musim dimana pada awal Musim Barat, arus kuat muncul dari arah barat yang memungkinkan massa air dari sisi selatan Teluk Bone memasuki teluk. Penurunan kecepatan arus terjadi selama Musim Timur.

Model transpor mengungkapkan adanya variabilitas musiman pada transpor yang membawa massa air ke arah selatan pada bulan Februari dan Juli dan ke utara pada bulan Januari, April, September dan November dan seterusnya. Akibat topografi di mulut teluk, massa air terakumulasi dan membentuk *eddy* yang membawa massa air ke selatan pada bulan April sampai beberapa bulan ke depan. Rata-rata volum transpor adalah -0.12 Sv dengan simpangan baku sebesar 0.27 Sv. Hal ini menunjukkan bahwa transpor lebih dominan ke arah selatan yang mengindikasikan adanya defisit pada permukaan laut defisit. Kondisi ini memungkinkan terjadinya *upwelling* untuk menjaga kestabilan permukaan air laut. Variabilitas transpor yang diamati dari hasil CWT memperlihatkan adanya variabilitas intra musiman dan variabilitas tahunan.

Hasil observasi selama 15-19 Oktober 2014 menggambarkan peningkatan salinitas dalam teluk menuju mulut teluk dengan kisaran salinitas di permukaan sebesar 33.5-34.6 psu. Secara horizontal, terdapat pola stratifikasi yang ditujukkan oleh parameter fisik dan kimia seperti salinitas di dalam teluk dan di mulut teluk bahkan sampai kedalaman 100 m, diikuti oleh fluktuasi parameter lain yaitu suhu dan DO. Karakteristik massa air di Teluk Bone pada waktu pengamatan memperlihatkan kemiripan dengan karakteristik massa air di Laut Banda dan Laut Flores. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat pertukaran massa air dari luar teluk

IPB University — Bogor Indonesia
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

ke dalam teluk yang menyebabkan massa air Teluk Bone memiliki jenis massa air yang sama dengan perairan di sekitarnya.

Model juga membantu untuk melihat konteks spasial dan temporal yang lebih besar dari perubahan yang ditemukan pada periode pengamatan. Hal tersebut juga menjelaskan distribusi fitoplankton dan zooplankton di dalam teluk selama Musim Timur. Pola musiman yang muncul pada produktivitas primer mengindikasikan adanya pengaruh dinamika perairan terhadap distribusi produktivitas primer dan nutrien akibat pertukaran massa air antara laut lepas dengan massa air di dalam Teluk Bone. Hal ini terlihat dari pola CO_2, PO_4, $Si(OH)_4$ dan DFe yang mengikuti pola musiman dari pola sirkulasi laut di Teluk Bone. CO_2 dan PO_4 cenderung memiliki puncak peningkatan di Musim Timur (Agustus) hingga Musim Peralihan II (November). Pola sirkulasi laut secara fisik yang memiliki kesamaan dengan pola distribusi produktivitas primer dan faktor pembangkitnya menunjukkan bahwa penyebaran nutrien dipengaruhi dari transpor massa air di dalam Teluk Bone sehingga menggerakkan distribusi produktivitas primer di wilayah ini.

Saran

Hasil penelitian yang disajikan, mengindikasikan bahwa terdapat interaksi antara parameter oseanik yang memiliki pengaruh dari parameter atmosferik. Oleh karena itu, penelitian lanjutan sangat disarankan untuk dilakukan dengan mengetahui pengaruh limpasan sungai dan pengaruhnya terhadap distribusi biogeokimia di Teluk Bone, faktor pembangkit pertukaran massa air di Teluk Bone, serta waktu keluar (*flushing time*) dan waktu tinggal air *(residence time*) di sekitar muara sungai yang mengalir ke Teluk Bone. Penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis deret waktu untuk menghitung korelasi antar faktor dengan menggunakan analisis *Power Spectral Density* (PSD) dan / atau *Fast Fourier Transform* (FFT) yang dapat memberikan informasi mengenai frekuensi kemunculan dari suatu fenomena dan beda fase yang memperlihatkan *time lag*. Hal ini dilakukan guna mengkonfirmasi asumsi dari keterkaitan antar parameter dengan distribusi biogeokimia di Teluk Bone. Analisis pada korelasi silang antara variabel yang terkait perlu dijelaskan dalam tulisan yang terpisah untuk menjelaskan faktor-faktor utama yang memiliki pengaruh kuat terhadap pola sirkulasi. Analisis lintasan (*trajectory*) juga perlu dilakukan untuk mengkaji lebih dalam aliran pertukaran massa air di Teluk Bone.

DAFTAR PUSTAKA

[APHA] American Public Health Association. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 22nd ed. USA: APHA.

[BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Rata-rata harian aliran sungai, tinggi aliran, dan volume air di beberapa sungai yang daerah pengalirannya lebih dari 1000 km^2, 2000-2011 [internet]. [diacu 2018 Oktober 27]. Tersedia dari: https://www.bps.go.id/statictable/2014/09/05/1371/rata-rata-harian-aliran-sungai-tinggi-aliran-dan-volume-air-di-beberapa-sungai-yang-daerah-pengalirannya-lebih-dari-1-000-km2-2000-2011-.html.

[KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan, Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap. 2016. Statistik Perikanan Tangkap. Jakarta (ID):KKP.

Andrejev O, Myberg K, Alenius P, Lundberg PA. 2004 Mean circulation and water exchange in the Gulf of Finland: a study based on three-dimensional modelling *Boreal Environ.* 9:1-16.

Angraeni, Rezkyanti NI, Safruddin, Zainuddin M. 2014. Spatial and temporal analysis of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) catch and thermal front during the transition season in the Bone Bay. *J IPTEKS PSP*. 1:20-27.

Atmadipoera A, Molcard R, Madec G, Wijffels S, Sprintall J, Koch-Larrouy A, Jaya I, Supangat A. 2009. Characteristics and variability of the Indonesian throughflow water at the outflow straits. *Deep-Sea Res Pt I*. 56:1942-1954.

Atmadipoera AS, Widyastuti P. 2014. A numerical modeling study on upwelling mechanism in Southern Makassar Strait. *JITKT*. 6:355-371.

Aumont O, Bopp L.2006. Globalizing results from ocean in-situ iron fertilization studies. *Global Biogeochem Cy*. 20: GB2017.

Aumont O, Maier-Reimer E, Blain S, Monfray P. 2003. An ecosystem model of the global ocean including Fe, Si, P co-limitation, *Global Biogeochem Cy*. 17(2): 1060.

Barbeau K. 2006. Photochemistry of organic iron (III) complexing ligands in oceanic systems. *Photochem Photobiol*. 82:1505-1516.

Balbeid N, Atmadipoera AS, Koropitan AF. 2015. Respon suhu permukaan laut (spl) dan klorofil-a terhadap *Madden Julian Oscillation* (MJO) di Laut Indonesia. *JITKT*. 7(2): 553-572.

Bayhaqi A, Iskandar MR, Surinati D. 2017. Surface current pattern and physics condition of waters around Selayar Island in the first transitional and southeast monsoons. *OLDI*. 2:83-95.

Bristow LA, Mohr W, Ahmerkamp S, Kuypers MMM. 2017. Nutrients that limit growth in the ocean. *Curr Biol*. 27(11): R474-R478.

Conkright, M., W. Gregg and S. Levitus. 2000. Seasonal cycle of phosphate in the open ocean. *Deep Sea Res*. 47(2): 159-175.

Debreu L, Marchesiello P, Penven P, Cambon G. 2012. Two-way nesting in split-explicit ocean models: Algorithms, implementation and validation. *Oce Modeling*. 49-50:1-21.

Dugdale RC, Wilkerson FP. 2001. Sources and fates of silicon in the ocean: the role of diatoms in climate and glacial cycles. *Sci Mar.* 65(2): 141-152.

Dutkiewicz S, Follows MJ, Parekh P. 2005. Interactions of the iron and phosphorus cycles: A three-dimensional model study. *Global Biogeochem Cy*. 19: GB1021.

Emery WJ, Thomson RE. 2014. Data Analysis Methods in Physical Oceanography vol 3. USA: Elsevier.

Emery WJ. 2003. Water types and water masses. *Elsevier*. 1556-1567.

Eppley RW. 1972. Temperature and phytoplankton growth in sea. *Fish Bull.* 70:1063-1085.

Fajrianti D, Mallawa A, Musbir. 2016. Pendugaan musim penangkapan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Teluk Bone. *J IPTEKS PSP*. 3(6): 469-483.

Fan W, Jian Z, Dang H, Wang Y, Bassinot F, Han X, Bian Y. 2018. Variability of the Indonesian Throughflow in the Makassar Strait over the last 30 ka. *Sci Rep Archiving*. 1-8.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

IPB University — Bogor Indonesia —

Perpustakaan IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Perpustakaan IPB University

Fennel K, Wilkin J, Levin J, Moisan J, O'Reilly J, Haid-vogel D. 2006. Nitrogen cycling in the Middle Atlantic Bight: results from a three-dimensional model and implications for the North Atlantic nitrogen budget. *Global Biogeochem Cy.* GB 3007.

Firdaus ML. 2018. Physical properties and nutrients distribution of seawater in the Banda Sea – Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 184 : 012011.

Fisher MR. 2019. Environmental Biology. 2nd Ed. USA: OpenOregon.

Flather RA. 1976. A tidal model of the north-west European continental shelf. *Mem de la Soc Royale des Sci de Liege*. 6:141-64.

Gordon AL. 1986. Interocean exchange of thermocline water. *J Geophys Res.* 91: 5037-5046.

Gordon A. 2005. Oceanography of the Indonesian seas and their throughflow. *Oce*. 18:15-27.

Hasanudin M. 1998. Arus lintas Indonesia (ARLINDO). *Oseana*. 23(2): 1-9.

Inaku DF. 2015. Analysis of distribution pattern and development of upwelling area in southern Makassar Strait. *Torani*. 25:67-74.

Jufri A, Amran MA, Zainuddin M. 2014. Characterization of skipjack tuna fishing ground during the west monsoon in Bone Bay. *J IPTEKS PSP*. 1:1-10.

Kämpf J, Sadrinasab M. 2006. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. *Ocean Sci*. 2:27-41.

Kemili P, Putri MR. 2012. Pengaruh durasi dan intensitas upwelling berdasarkan anomali suhu permukaan laut terhadap variabilitas produktivitas primer di perairan Indonesia. *JITKT*. 4(1): 66-79.

Kunarso S, Hadi NS, Ningsih, MS Baskoro. 2011. Variabilitas suhu dan klorofil-a di daerah upwelling pada variasi kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor. *IJMS*. 16(3): 171-180.

Lacroix G, Nival P. 1998. Influence of meterological variability on primary production dynamics in Lingurian Sea (NW Mediterranean Sea) with a 1D hydrodynamic/biological model. *J Mar Sys*. 16:23-50.

Mallawa A, Amir F, Safruddin, Mallawa E. 2018. Keberlanjutan teknologi penangkapan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di perairan Teluk Bone, Sulawesi Selatan. *Marin Fish*. 9(1):93-106.

Marchesiello P, Estrade P. 2010. Upwelling limitation by geostrophic onshore flow. *J Mar Res*. 68:37-62.

McTaggart KE, Johnson GC, Johnson MC, Delahoyde FM, Swift JH. 2010. Notes on CTD/O2 data acquisition and processing using Sea-Bird hardware and software (as available). *Go-Ship IOCCP* Rep. 14:1-10.

Moore JK, Braucher O. 2007. Sedimentary and mineral dust sources of dissolved iron to the world ocean. *BG.* 5: 631-656.

Moore JK, Doney SC, Kleypas JA, Glover DM, Fung IY. 2002, An intermediate complexity marine ecosystem model for the global domain, *Deep Sea Res Part II*. 49: 403–462.

Moore JK, Doney SC, Lindsay K. 2004. Upper ocean ecosystem dynamics and iron cycling in a global three-dimensional model. *Global Biogeochem Cy*. 18: GB4028.

Morgan CW, Bishop JM. 1977. An example of gulf stream eddy-induced water exchange in the Mid-Atlantic bight. *J Phys Oceanogr*. 7:472-479.

Nababan B, Rosyadi N, Manurung D, Natih NM, Hakim R. 2016. The seasonal variability of sea surface temperature and chlorophyll-a concentration in the south of Makassar Strait. *Procedia Environ Sci Eng Manag.* 33:583-599.
Norman Y, Ihsan N, Arsyad M. 2012. Analisis distribusi arus permukaan laut di Teluk Bone pada tahun 2006-2010. *JSPF*. 8(3): 288-295.
Palacios DM, Bograd SJ, Foley DG, Schwing FB. 2006. Oceanographic characteristics of biological hot spots in North Pacific: A remote sensing perspective. *Deep-Sea Res II.* 53:250-269.
Penven P, Debreu L, Marchesiello P, McWilliams JC. 2006. Evaluation and application of the ROMS 1-way embedding procedure to the central California upwelling system. *Oce Modeling*. 12:157-187.
Pranowo WS, Puspita CD, Bramawanto R, Adi RA, Kusumawardani ARTD. 2014. Dinamika arus dalam mendukung perikanan budidaya laut di Teluk Bone. *Jurnal Harpodon Borneo*. 7(2): 135-152.
Putri ARS, Zainuddin M, Putri RS. 2018. Effect of climate change on the distribution of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* catch in the Bone Gulf, Indonesia, during the southeast monsoon. *AACL Bioflux*. 11:439-451.
Putriani YP, Atmadipoera AS, Nugroho D. 2018. Interannual variability of Indonesian Throughflow in Flores Sea. *Prosiding the 3rd EMBRIO International Workshop*; 2018 Oktober 9-10; Bogor, Indonesia. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
Radach G, Moll A. 1993. Estimation of the variability of production by simulating annual cycles of phytoplankton in the central North Sea. *Prog Oceanogr*. 31: 339-419.
Rahardiawan R, Arifin L. 2013. Struktur geologi Teluk Bone – Sulawesi Selatan. *J Geol Kelaut.* 11(3): 141-147.
Rintaka WE, Putri MR, Tenggono M, Agustiadi T. 2013. Pengaruh suhu dan salinitas perairan Indonesia terhadap produktifitas primer. *Seminar Nasional Tahunan X Hasil Penelitian Kelautan dan Perikanan*; 2013 Agustus 31; Yogyakarta, Indonesia. Yogyakarta (ID): Universitas Gadjah Mada.
Royer F, Fromentin JM, Gaspar P. 2004. Association between bluefin tuna schools and oceanic features in the western Mediterranean. *Mar Ecol Prog Ser.* 269:249-263.
Safruddin, Dewi YK, Hidayat R, Umar MT, Zainuddin M. 2018a. Study of the oceanographic conditions of fishing grounds of large pelagic fish using pole and line in the Gulf of Bone waters. *Prosiding Simposium Nasional Kelautan dan Perikanan V*; 2018 Mei 5; Makassar, Indonesia. Makassar (ID): Universitas Hasanudin. hlm 255-264.
Safruddin, Hidayat R, Zainuddin M. 2018b. Effects of environmental factors on anchovies *Stolephorus* sp distribution in Bone Gulf, Indonesia. *AACL Bioflux*. 11:387-393.
Safruddin, Hidayat R, Zainuddin M. 2018c. Oceanographic conditions on small pelagic fishery in the Gulf of Bone Waters. *Torani*. 1:48-58.
Saputra FRT, Lekalette JD. 2016. Dinamika massa air di Teluk Ambon. *Widyariset*. 2(2): 143-152.
Shchepetkin AF, McWilliams JC. 2003. A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a nonaligned vertical coordinate. *J Geophys Res*. 108:35-1.

IPB University — Bogor Indonesia —
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

Shchepetkin AF, McWilliams JC. 2005. The Regional Ocean Modeling System (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following coordinates ocean model. *Oce Modeling*. 9:347-404.

Sigman DM, Hain MP. 2012. The biological productivity of the ocean. *Nat Edu*. 3(6): 1-16.

Smith E. 1936. Photosynthesis in relation to light and carbon dioxide. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 22:504-511.

Sprintall J, Gordon AL, Koch-Larrouy A, Lee T, Potemra JT, Pujiana K, Wijffels SE. 2014. The Indonesian seas and their role in the coupled ocean–climate system. *Nat Geosci*. doi: http://dx.doi.org/10.1038/ngeo2188.

Sprintall J, Wijffels SE, Molcard R, Jaya I. 2009. Direct estimates of the Indonesian Throughflow entering the Indian Ocean: 2004–2006. *J Geophys Res*. 114 doi: 10.1029/2008JC005257.

Sprintall J, Liu WT. 2005. Ekman mass and heat transport in the Indonesian Seas. *Oceanography*. 18(4): 88-97.

Susanto RD, Ffield A, Gordon AL, Adi TR. 2012. Variability of Indonesian throughflow within Makassar Strait, 2004–2009. *J Geophys Res*. 117 doi: 10.1029/2012JC008096.

Swift SA, Bower AS. 2003. Formation and circulation of dense water in the Persian/Arabian Gulf. *J Geophys Res*. 108:4-1-4-15.

Tian RC, Vézina AF, Legendre L, Ingram RG, Klein B, Packard T. 2000. Effects of pelagic food-web interactions and nutrient remineralization on the biogeochemical cycling of carbon: a modeling approach. *Deep Sea Res.* 47:637-62.

Torrence C, Compo GP. 1998. A Practical Guide to Wavelet Analysis. USA: Colorado University.

Williams RG, Follows MJ. 2003. Physical transport of nutrients and the maintenance of biological production. Di dalam: Fasham MJR, editor. Berlin (DE): Springer. hlm 12-27.

Zainuddin M, Farhum A, Safruddin, Selamat MB, Sudirman, Nurdin N, Syamsuddin M, Ridwan M, Saitoh S. 2017. Detection of pelagic habitat hotspots for skipjack tuna in the Gulf of Bone-Flores Sea, southwestern Coral Triangle tuna, Indonesia. *PLoS ONE*. 12:1-19.

Zainuddin M, Nelwan A, Farhum SA, Najamuddin, Hajar MAI, Kurnia M, Sudirman. 2013. Characterizing potential fishing zone of skipjack tuna during the southeast monsoon in the Bone Bay-Flores Sea using remotely sensed oceanographic data. *IJG*. 4:259-266.

IPB University — Bogor Indonesia —
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Perpustakaan IPB University

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Tanjung Pinang, Kepulauan Riau pada tanggal 14 Juni 1992 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Pudjadi dan Ibu Sri Erlinawati. Pendidikan penulis diawali dengan bersekolah di SMP Negeri 9 Bekasi pada tahun 2004 – 2007. Pada tahun 2007 – 2010 penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 2 Bekasi.

Pendidikan Sarjana ditempuh di Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor angkatan 47 dan lulus pada tahun 2014. Penulis melanjutkan studi magister di Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor (IPB) pada Program Studi Ilmu Kelautan pada Tahun 2016. Penulis merupakan lulusan terbaik Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan tahun 2014 dan penerima Beasiswa Unggulan dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan tahun 2016.

Penulis telah mengikuti beberapa Pertemuan Ilmiah Nasional dan Internasional sebagai pemakalah yakni *The 2nd International Conference on Marine Sciences* 2017 dengan judul makalah "Oceanography Characteristics in Bone Bay: Observation and Model". Penulis juga pernah mengikuti Pertemuan Internasional *The 3rd EMBRIO International Workshop on Marine Biodiversity: Understanding, Utilization and Conservation* di Bogor dengan judul makalah "Upper circulation in Bone Bay and its relation to biogeochemical distribution: from observation and model". Penulis juga pernah mengikuti Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan XV Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia (ISOI) di Yogyakarta dengan judul makalah "Analysis on the Variability of Seawater Transport in Bone Bay and Its Impacts to the Biogeochemical Distribution". Penulis pernah mengikuti *International Summer Course on Marine Science* "Understanding Physical Processes of Turbulent Mixing" di Universitas Udayana, Bali. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister, penulis telah mempublikasikan satu jurnal di Prosiding Seminar Internasional terakreditasi IOP dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 278, The 3rd EMBRIO International Workshop on Marine Biodiversity: Understanding, Utilization, Conservation 9–10 October 2018, Bogor, Indonesia*. Dalam penyelesaian studi magister, penulis melakukan penelitian dan karya tulis berupa tesis dengan judul "**Analisis Sirkulasi Laut di Teluk Bone dan Hubungannya dengan Distribusi Produktivitas Primer**".