ANALISIS POLA ARUS GEOSTROPIK DI LAUT SULAWESI PADA MUSIM BARAT DAN MUSIM TIMUR MENGGUNAKAN DATA SSALTO/DUACS DARI TAHUN 1994 - 2017

SKRIPSI

Oleh :

MUHAMMAD IZZA FATHUR RAHMAN

155080607111030

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2019

ANALISIS POLA ARUS GEOSTROPIK DI LAUT SULAWESI PADA MUSIM BARAT DAN MUSIM TIMUR MENGGUNAKAN DATA SSALTO/DUACS DARI TAHUN 1994 - 2017

SKRIPSI

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

Oleh :

MUHAMMAD IZZA FATHUR RAHMAN
155080607111030

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

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

SKRIPSI

ANALISIS POLA ARUS GEOSTROPIK DI LAUT SULAWESI PADA MUSIM BARAT DAN MUSIM TIMUR MENGGUNAKAN DATA SSALTO/DUACS DARI TAHUN 1994 – 2017

Oleh :

MUHAMMAD IZZA FATHUR RAHMAN
155080607111030

Telah dipertahankan di depan penguji
Pada tanggal 31 Oktober 2019
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
M. Arif Zainul Fuad, S. Kel., M.sc	Dwi Candra Pratiwi, S.Pi., M.P
NIP. 19801005 200501 1 002	NIP. 19860115 201504 2 001
Tanggal : 19 NOV 2019	Tanggal : 19 NOV 2019

Mengetahui,
Ketua Jurusan
Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan

Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.Pi., MT
NIP. 19780717 200502 1 004
Tanggal : 19 NOV 2019

repository.ub.ac.id

IDENTITAS PENGUJI

Judul :**ANALISIS POLA ARUS GEOSTROPIK DI LAUT SULAWESI PADA MUSIM BARAT DAN MUSIM TIMUR MENGGUNAKAN DATA SSALTO/DUACS DARI TAHUN 1994 – 2017**

Nama : MUHAMMAD IZZA FATHUR RAHMAN

NIM : 155080607111030

Program Studi : Ilmu Kelautan

PENGUJI PEMBIMBING

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

Pembimbing 2 : DWI CANDRA PRATIWI, S.Pi., M.P.

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING

Dosen Penguji 1 : Ir. BAMBANG SEMEDI, M.Sc., Ph.D

Dosen Penguji 2 : RARASRUM DYAH KASITOWATI, S.Kel., M.Sc., M.Si.

Tanggal Ujian : 31 Oktober 2019

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas karunia dan kesehatan yang diberikan selama ini sehingga laporan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Kedua orang tua saya yang telah memberikan doa, dukungan moral dan materil, dan sebagai penyemangat selama melakukan penyusunan skripsi.
3. Ibu Feni Iranawati, S.Pi., M.Si., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan.
4. Bapak Mochamad Arif Zainul Fuad, S. Kel., M.sc selaku dosen pembimbing satu yang sudah meluangkan waktu selama proses bimbingan dan memberikan pengarahan serta ilmu dalam penyusunan usulan skripsi hingga laporan skripsi.
5. Ibu Dwi Candra Pratiwi, S.Pi., M.P selaku dosen pembimbing dua yang sudah meluangkan waktu selama proses bimbingan dan memberikan pengarahan serta ilmu dalam penyusunan usulan skripsi.
6. Adik-adik tercinta, Arika Rizki Annisa, Muhammad Zulfa Mustofa, dan Nabila Rahma Maulida, yang telah menyemangati selama melakukan penelitian skripsi
7. Teman-teman Ilmu Kelautan 2015, khususnya bagi Muhammad Fathurrohman, Muhammad Anwar Fikri, Axioma Muhammad Iqbal, dan Dimas Fachri Wibowo, yang telah membantu penulis selama melakukan penyusunan skripsi.
8. Teman-teman X8 yang menemani hingga diterima menimba ilmu di Universitas Brawijaya

repository.ub.ac.id

RINGKASAN

MUHAMMAD IZZA FATHUR RAHMAN. Skripsi tentang Analisis Arus Geostropik di Laut Sulawesi pada Muasim Barat dan Musim Timur Menggunakan Data SSALTO/DUACS dari Tahun 1994 – 2017 (dibawah bimbingan: **M. Arif Zainul Fuad, S.Kel., M.Sc. dan Dwi Candra Pratiwi, S.Pi., M.P.**).

Dinamika arus laut merupakan salah satu objek penelitian yang menarik untuk dikaji. Arus didefinisikan sebagai suatu pergerakkan massa air laut dari satu titik ke titik lainnya. Arus di laut dibedakan berdasarkan gaya pembangkitnya, diantaranya ialah arus akibat angin, arus termohalin, dan arus geostropik. Arus geostropik yang terjadi di Perairan dapat menyebabkan pengadukkan kolom massa air secara vertical (*upwelling* atau *downwelling*). Dinamika massa air laut di Laut Sulawesi menjadikan perairan tersebut potensial untuk terjadinya arus geostropik. Tujuan penelitian ini ialah untuk menganalisis pola arus geostropik, menganalisis tren arus geostropik berdasarkan musim *monsoon*, dan memprediksi potensi *upwelling* dan *downwelling* yang disebabkan oleh arus geostropik.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data multimisi SSALTO/DUACS. Data SSALTO/DUACS memuat data-data seperti arah dan kecepatan arus geostropik, dinamika topografi absolut, serta data anomali tinggi muka air laut. Penelitian ini mengidentifikasi pola arus geostropik dari tahun 1994 – 2017. Analisis tren arus geostropik dilakukan dengan menggunakan uji statistik *student t-test* data anomali tinggi muka air laut (*sea level anomalies*) untuk. Prediksi potensi *upwelling* dan *downwelling* pada penelitian ini dilakukan dengan mensintesis hasil identifikasi pola arus geostropik dan hasil analisis tren kejadian arus geostropik. Penelitian ini juga mensegmentasi dinamika arus geostropik berdasarkan siklus musim *monsoon* (musim barat dan musim timur). Segmentasi tersebut dilakukan guna mengetahui apakah ada perbedaan terkait dinamika arus geostropik yang disebabkan oleh musim *monsoon*.

Pola arus geostropik di Laut Sulawesi terbagi menjadi dua jenis pola yakni arus geostropik siklonik dan antisiklonik. Arus geostropik antisiklonik merupakan arus geostropik yang bergerak searah jarum jam membentuk pusat konvergensi yang menyebabkan *downwelling*. Sedangkan arus geostropik siklonik merupakan arus geostropik yang bergerak berlawanan arah jarum jam membentuk pusat divergensi yang menyebabkan *upwelling*. Tren kejadian arus geostropik tidak dapat dikategorikan berdasasrkan musim *monsoon*, hal tersebut mengindikasikan pengaruh musim *monsoon* yang lemah terhadap dinamika arus geostropik. *Upwelling* dan *downwelling* tidak dapat diprediksi kejadiannya berdasarkan musim *monsoon* karena tren arus geostropik terjadi melampaui waktu terjadinya siklus *monsoon.* Tren arus geostropik lebih cenderung mengikuti pola dinamika ENSO (*El-Nino and Southern Oscilation*). Arus geostropik siklonik cenderung terjadi pada saat terjadinya *La-Nina* sedangkan arus geostropik antisiklonik cenderung terjadi pada saat terjadinya *El-Nino*. Waktu yang potensial untuk terjadinya *upwelling* diprediksi bertepatan ketika terjadinya *El-nino* sedangkan *downwelling* diprediksi terasosiasi kepada *La-Nina*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan usulan skripsi yang berjudul **"**Analisis Pola Arus Geostropik di Laut Sulawesi pada Musim Barat dan Musim Timur Menggunakan Data SSALTO/DUACS Dari Tahun 1994 - 2017*"***.** Penelitian skripsi ini dilaksanakan sebagai salah satu syarat untuk dapat memperoleh gelar Sarjana Kelautan di Fakutas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang. Di bawah bimbingan:

1. Mochamad Arif Zainul Fuad, S. Kel., M.sc
2. Dwi Candra Pratiwi, S.Pi., M.P

. Diharapkan usulan skripsi ini dapat dijadikan informasi bagi instansi dan masyarakat umum untuk mengetahui pola arus geostropik berdasarkan musim barat dan musim timur. Akhir kata Penulis Menyadari bahwa penulisan usulan skripsi ini tidak lepas dari kekurangan.

Malang, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

RINGKASAN vi

KATA PENGANTAR vii

DAFTAR ISI viii

DAFTAR TABEL x

DAFTAR GAMBAR xi

DAFTAR LAMPIRAN xii

1. PENDAHULUAN 1
   1.1 Latar Belakang 1
   1.2 Rumusan Masalah 2
   1.3 Tujuan 3
   1.4 Kegunaan 3
   1.5 Tempat, waktu/Jadwal Pelaksanaan 3

2. TINJAUAN PUSTAKA 2
   2.1 Arus 2
      2.1.1 Arus Geostropik 6
   2.2 Musim *Monsoon* 7
   2.3 *Upwelling* dan *Downwelling* 9
      2.3.1 Pengaruh *Upwelling* dan *Downwelling* terhadap Perairan 12
   2.4 Metode Pengukuran Menggunakan Satelit Altimetri 13
      2.4.1 Data Satelit Altimetri 17

3. METODE PENELITIAN 22
   3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 22
   3.2 Alat dan Bahan 22
   3.3 Prosedur Penelitian 24
   3.4 Pengambilan Data 25
   3.5 Pengolahan Data 25
      3.5.1 Pengolahan Data Peta Arus Geostropik 26
      3.5.2 Pengolahan Data Grafik Kejadian Arus Geostropik 27
      3.5.3 Pengolahan Data Anomali Tinggi Muka Air Laut 29
   3.6 Analisis Data 30
      3.6.1 Analisis Pola Arus Geostropik 30
      3.6.2 Analisis Tren Anomali Tinggi Muka Air Laut 31
      3.6.3 Analisis Potensi *Upwelling* dan *Downwelling* 32

4. HASIL DAN PEMBAHASAN 33
   4.1 Hasil Identifikasi Pola Arus Geostropik 33
      4.1.1 Pola Arus Geostropik 33
      4.1.2 Dinamika Arus Geostropik 38
   4.2 Analisis Pola Arus Geostropik pada Dua Musim 40
      4.2.1 Anomali Tinggi Muka Air Laut (*Sea Level Anomalies*/SLA) 41

4.2.2 Analisis Tren *Sea Level Anomalies* (SLA) 44
4.3 Analisis Potensi *Upwelling* dan *Downwelling* Berdasarkan Musim 46
4.4 Analisis Tren ENSO (*El-Nino and Southern Oscilation*) 49

5. PENUTUP 53
5.1 Kesimpulan 53
5.2 Saran 54
DAFTAR PUSTAKA 55

LAMPIRAN 58

repository.ub.ac.id

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Alat yang digunakan 23

2. Bahan yang digunakan dalam penelitian..... 23

3 Hasil uji statistik *student t-test* data anomali tinggi muka air laut 47

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Skema pusat divergensi dan konvergensi di belahan bumi utara 10

2. Peta pola *gyre* di belahan bumi utara dan selatan 11

3. Skema pengukuran pada satelit altimetri 15

4. Peta lokasi penelitian 22

5. Diagram alir penelitian 24

6 peta *overlay* rata-rata arus geostropik dengan dinamika topografi absolut 34

7 peta nilai standar deviasi dari rata-rata dinamika topografi absolut 36

8 Grafik kejadian arus geostropik siklonik (a) dan antisiklonik (b) 39

9 grafik anomali tinggi muka air laut selama tahun 1994 - 2017 41

10 grafik rata-rata bulanan dari anomali tinggi muka air laut selama tahun 1994 - 2017 42

11 Grafik *boxplot* data anomali tinggi muka air laut 43

12 hasil analisis *student t-test* shift data anomali tinggi muka air laut (Januari 1994 sampai dengan Desember 2017) 45

13 grafik hasil uji *student t-test* data index Nino 4 (bulan Januari 1994 sampai dengan Desember 2017) 50

14 perbandingan hasil uji statistik *student t-test* antara index Nino dengan anomali tinggi muka air laut 51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

1 Contoh data rata-rata Dinamika Topografi Absolut 58
2 Contoh data rata-rata kecepatan dan arah arus geostropik 59
3 Contoh nilai standar deviasi rata-rata Dinamika Topografi Absolut 60
4 Contoh data identifikasi kejadian arus geostropik antisiklonik 61
5 Contoh data identifikasi kejadian arus geostropik siklonik 63
6 Contoh data nilai anomali tinggi muka air laut 65
7 Contoh data anomali dari nilai rata-rata anomali tinggi muka air laut 66
8 Contoh data hasil uji statistik *student t-test* nilai anomali tinggi muka air laut .. 67
9 Contoh data hasil uji statistik *student t-test* nilai indeks NINO 4 68

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu arus yang menarik untuk dibahas ialah arus geostropik. Menurut Umaroh *et al.* (2017) masih banyak yang harus diketahui mengenai pengaruh arus geostropik yang dapat mempengaruhi faktor perikanan, sektor perencanaan, dan mengurangi kontaminan di laut berdasarkan sifat arus horizontalnya. Penelitian mengenai arus geostropik indonesia biasanya dilakukan dengan metode penginderaan jauh. Hal tersebut dikarenakan laut indonesia yang begitu luas dan metode penginderaan jauh memberikan sifat pengamatan yang aktual. Menurut Klemas (2012) fenomena di laut dapat diamati dengan beberapa metode, salah satunya ialah metode penginderaan jauh yang memungkinkan kita dapat mengamati fenomena seperti arus yang terjadi di laut lepas maupun dekat dengan daerah pesisir (*coastal current*). Penelitian tentang arus geostropik telah umum dilakukan dengan metode penginderaan jauh. Penelitian oleh Dimas *et al.* (2015) dan oleh Umaroh *et al.* (2017) melakukan pemetaan arus geostropik dengan menggunakan data anomali tinggi permukaan laut dari tahun 1996 sampai dengan tahun 2015. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa dalam teknik pemetaan arus geostropik digunakan data tinggi permukaan laut untuk mengidentifikasi bentukkan arus geostropik tersebut. Namun pada kedua penelitian tersebut tidak memberikan bentukkan atau pola arus geostropik yang ada di Laut Sulawesi dan kurang mengkaji mengenai variabilitas arus geostropik berdasarkan faktor-faktor seperti musim.

Berdasarkan letak geografisnya perairan di bagian utara pulau Sulawesi menjadi salah satu tempat potensial terbentuknya arus geostropik. Terbentuknya arus geostropik dikarenakan adanya gradien tekanan horizontal pada topografi muka air laut. Menurut Nababan and Hadianti (2017), pengaruh ARLINDO serta

musim *monsoon* memiliki pengaruh terhadap dinamika muka air laut di Laut Sulawesi. Berdasarkan karakteristik geografis dari Laut Sulawesi tersebut, penelitian mengenai arus geostropik yang terjadi pada daerah tersebut menjadi suatu topik yang menarik. Selain itu arus geostropik yang dapat menyebabkan pengadukkan massa air secara vertikal menjadi salah satu faktor yang menarik untuk dikaji bagaimana potensi variabilitas terjadinya pengadukkan vertikal tersebut .

Arus geostropik menjadi salah satu topik penelitian yang menarik untuk dilakukan. Penelitian ini menjadikan arus geostropik dan pola yang disebabkan oleh pengaruh musim *monsoon* menjadi fokus utama. Penelitian ini juga tetap terbuka pada pengaruh lain selain musim *monsoon* yang dapat mempengaruhi pola arus geostropik. Laut Sulawesi dalam penelitian ini dijadikan daerah kajian karena lokasi geografis perairan tersebut secara teoritis menjadi daerah dengan potensi terjadinya arus. Hal tersebut karena berada pada rentang letak lintang yang mendukung untuk terbentuknya arus geostropik. Selain itu, daerah kajian tersebut memiliki dinamika muka air laut yang cocok untuk terbentuknya arus geostropik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian arus geostropik menggunakan data SSALTO/DUACS di Laut Sulawesi selama tahun 1994 sampai dengan tahun 2017 ialah sebagai berikut.

1. Bagaimana pola arus geostropik di Laut Sulawesi Bagian Utara?
2. Bagaimana perbandingan pola arus geostropik di Laut Sulawesi berdasarkan musim (musim barat dan musim timur)?
3. Bagaimana potensi terjadinya *upwelling* dan *downwelling* di Laut Sulawesi tiap musim (musim barat dan musim timur)?

1.3 Tujuan

Tujuan dalam penelitian arus geostropik menggunakan data SSALTO/DUACS di Laut Sulawesi selama tahun 1994 sampai dengan tahun 2017 ialah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi pola arus geostropik di Laut Sulawesi.
2. Membandingkan pola arus geostropik di Laut Sulawesi berdasarkan musim (musim barat dan musim timur).
3. Menganalisis fenomena *upwelling* dan *downwelling* berdasarkan musim (musim barat dan musim timur).

1.4 Kegunaan

Penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan dan digunakan oleh beberapa pihak seperti:

1. Mahasiswa

   Bagi mahasiswa, penelitian ini dapat menambah ilmu dan wawasan tentang bentukkan arus geostropik di laut dan pengaruhnya terhadap lautan.

2. Masyarakat Umum

   Bagi masyarakat, penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai pengaruh antara bentukkan arus geostropik di laut dan pengaruhnya terhadap fenomena-fenomena seperti *upwelling*.

3. Pemangku Kebijakan

   Bagi pemangku kebijakan, penelitian ini dapat menjadi informasi dalam menentukan kebijakan serta perencanaan terkait dengan arus geostropik.

1.5 Tempat, waktu/Jadwal Pelaksanaan

Penelitian ini berlokasi di Laut Sulawesi dengan batasan daerah lintang 1^0 LU - 6^0 LU dan bujur 117^0 BT – 129^0 BT. Pelaksanaan pengambilan data dilakukan

pada 21 - 22 April 2019. Data yang digunakan dalam pemetaan ini mencakup data multimisi SSALTO/DUACS di Laut Sulawesi (lintang 1^0 LU - 6^0 LU dan bujur 117^0 BT – 129^0 BT) dengan tanggal perekaman pada tanggal 1 januari 1994 – 31 Desember 2017.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Arus

Pergerakkan massa air di laut memiliki peran yang penting bagi kehidupan biologis serta memberikan dampak pada lingkungan pesisir. Pergerakkan massa air di laut tersebut dikenal dengan istilah arus laut. Menurut Marpaung dan Prayono (2014), arus merupakan pergerakkan massa air yang terjadi akibat perngaruh dari resultan gaya-gaya yang bekerja dan beberapa faktor yang mempengaruhi massa air tersebut. Daruwedho and Sasmito (2016) menjelaskan salah satu contoh arus diantaranya ialah arus laut permukaan yang disebabkan oleh angin yang berhembus di permukaan laut pada kedalaman 200 meter yang berpindah dari tempat bertekanan udara tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah. Arus juga dapat dibedakan jenis-jenisnya berdasarkan gaya dan faktor yang mempengaruhinya. Menurut Marpaung and Prayono (2014), arus di laut berdasarkan gaya yang mempengaruhinya yang dapat diidentifikasi diantaranya ialah termohalin, arus pasang surut, arus geostropik, dan arus ekman. Arus-arus yang disebutkan sebelumnya memiliki karakteristik yang berbeda-beda karena gaya yang bekerja pada arus tersebut pun berbeda.

Sirkulasi massa air di laut menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kehidupan biota-biota yang hidup di laut. Biota yang terpengaruh oleh arus juga tidak hanya sebatas makroorganisme yang terpengaruh tetapi hingga satu rantai tropik di laut dapat terpengaruh oleh arus. Menurut Penna *et al.* (2013), sirkulasi massa air di laut memiliki andil besar dalam rantai tropik dimana retensi sirkulasi dalam suatu pergerakkan massa air dapat meningkatkan produktivitas primer dan dengan tingkat retensi yang lebih tinggi mungkin dapat menjangkau aktivitas biologis hingga tingkat tropik yang lebih tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa

sirkulasi massa air laut menjadi hal yang esensial bagi kehidupan biologis di lautan dan dapat mempengaruhi kelimpahan suatu organisme. Respon organisme laut terhadap pergerakkan massa air ditelisik lebih dalam berdasarkan morfologi organisme yang terdampak oleh pergerakkan tersebut. Berdasarkan studi, organisme cenderung mengalami adaptasi morfologikal akibat adanya pergerakkan massa air. Adaptasi tersebut dapat berlangsung sejak organisme laut masih dalam fase telur atau pada fase larva. Menurut Silva *et al.* (2014), organisme *plaice* dalam fase larva menunjukkan perubahan drastis dalam morfologinya sebagai respon terhadap perubahan kondisi arus di habitatnya.

Pola arus di laut dapat berubah berdasarkan beberapa faktor yang mempengaruhinya. Arus permukaan yang dibangkitkan oleh angin memiliki faktor yang dapat mempengaruhi polanya di perairan. Faktor yang mempengaruhi pola arus permukaan di Perairan ialah musim. Menurut Rahmawitri *et al.* (2017), pola arus permukaan yang dibangkitkan oleh angin di Perairan Indonesia dapat berubah-ubah berdasarkan musim yang sedang berlangsung dimana tiap musim memiliki perbedaan arah hembusan angin. Hal tersebut memberikan gambaran bagaimana kita dapat memprediksikan dinamika yang terjadi di laut berdasarkan pola arus dan musim di Indonesia.

2.1.1 Arus Geostropik

Arus geostropik didefinisikan sebagai arus yang terjadi akibat terbentuknya equilibrium antara gaya gradien mendatar dan efek coriolis yang ditimbulkan akibat rotasi bumi. Menurut Penven *et al.* (2014), arus geostropik merupakan fenomena di laut yang terjadi akibat keseimbangan antara gradien tekanan di laut dan efek coriolis. Marpaung and Prayono (2014) menyatakan bahwa arus geostropik tidak memiliki hubungan dengan arus yang ditimbulkan akibat gaya gesek angin di permukaan sehingga arus geostropik digolongkan ke dalam arus permukaan tanpa gesekkan. Menurut Mann and Lazier (2006) arus geostropik sejatinya

merupakan arus yang terjadi akibat pergerakkan oleh gradien tekanan yang bekerja pada suatu massa air mengalami pembelokkan oleh efek coriolis yang ditimbulkan oleh rotasi bumi. Keseimbangan antara gradien tekanan pada massa air dan efek coriolis yang ditimbulkan rotasi bumi mengakibatkan terbentuknya arus yang bergerak secara siklonik maupun antisiklonik di permukaan laut.

Arus geostropik yang terjadi di suatu perairan dapat mengakibatkan pengadukan massa air secara vertikal. Hal tersebut dikarenakan sifat konvergensi dan divergensi arus geostropik. Menurut Ramadyan and Radjawane (2013), profil arus geostropik menyebabkan *upwelling* akibat sifat divergensi pusat arus yang mendorong naik massa air dari bawah menggantikan massa air di permukaan. Kemudian Ramadyan and Radjawane (2013) menambahkan jika profil arus geostropik akan menyebabkan *downwelling* akibat sifat konvergensi pusat arusnya yang menyebabkan turunnya massa air ke dalam perairan akibat penumpukkan massa pada permukaan. Keberadaan arus geostropik di lautan ditunjukkan dengan perbedaan topografi di lautan sebagai akibat dari sifat konvergensi dan divergensi arus tersebut. Menurut Stewart (2000), arus geostropik yang diakibatkan oleh gradien tekanan horizontal di laut menyebabkan profil arus tersebut berciri khas sehingga dapat diamati berdasarkan topografi yang ditimbulkan oleh arus tersebut.

2.2 Musim *Monsoon*

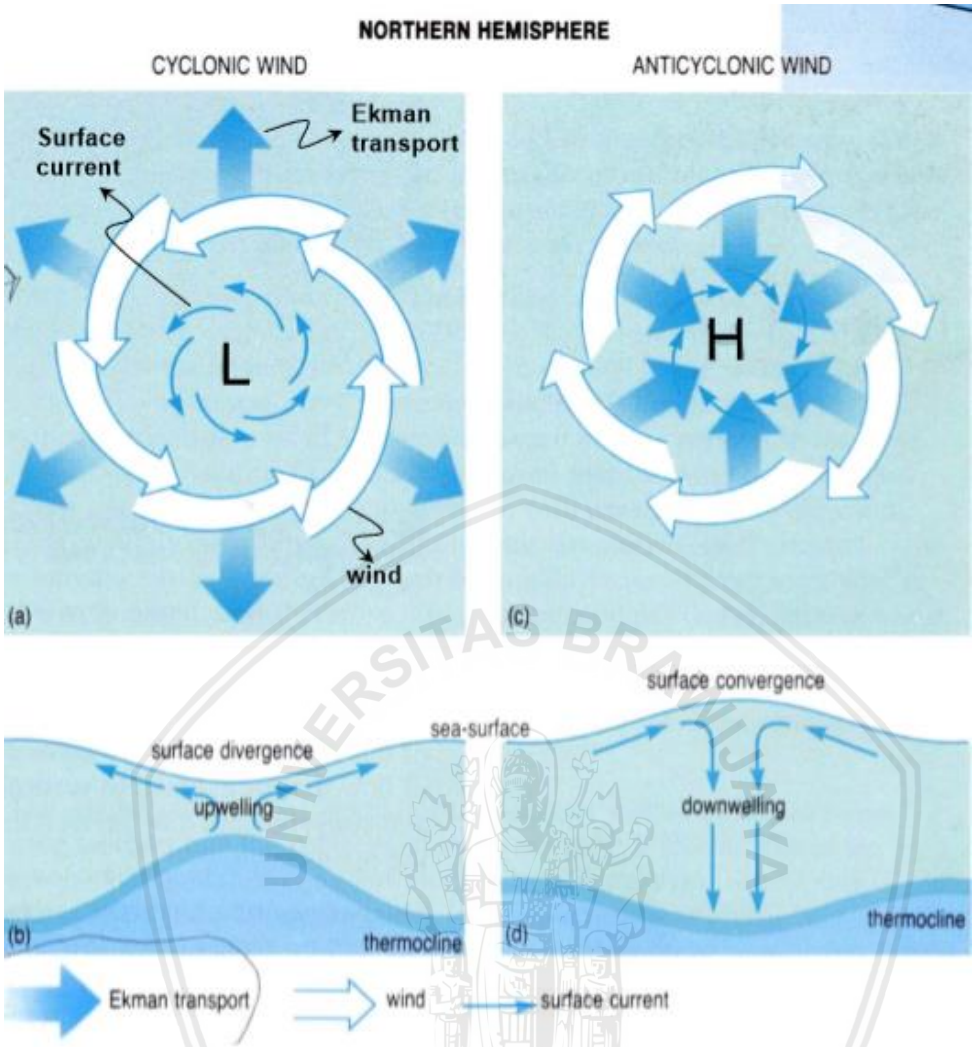
Kondisi sirkulasi atmosferik di Bumi mengakibatkan pergerakkan angin memiliki pola dominan pada waktu-waktu tertentu. Angin sendiri didefinisikan sebagai massa udara yang bergerak dari daerah bertekanan tinggi menuju ke daerah bertekanan rendah. Menurut Yona *et al.* (2017), angin merupakan suatu pergerakkan massa udara ke daerah bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan lebih rendah, perbedaan tekanan tersebut diakibatkan oleh perbedaan

pemanasan di Bumi yang dicontohkan dengan perbedaan suhu pada daerah beriklim tropis dengan daerah di kutub. Menurut Wheeler and McBride (2005), daerah-daerah yang mengalami pengaruh akibat siklus monsoon diantaranya ialah seperti New Guinea, Bali, Jawa, Sulawesi, dan beberapa bagian dari Sumatera dengan pengaruh yang ditimbulkan oleh siklus monsoon diantaranya ialah pergerakkan angin dominan yang khas pada tiap periode musim. Akibat dari siklus monsoonal ini terjadi perubahan pola cuaca dan curah hujan di daerah-daerah tempat berlangsungnya siklus tersebut.

Perubahan pola tiupan angin yang disebabkan oleh siklus monsoon dapat mengubah bagaimana pola topografi laut di Perairan Indonesia. Perubahan pola tersebut kemudian dapat dijadikan sebagai suatu pembanding bagaimana kondisi perairan untuk tiap musim monsoonalnya. Menurut Sprintall and Révelard (2014) pergerakkan massa air laut Indonesia tidak lepas dari masukkan air melalui lintasan ITF (*Indonesian Trough Flow*) dimana tiap musimannya mengalami variasi berdasarkan siklus angin monsoonal. Seperti yang diketahui bahwa angin menjadi faktor dominan penggerak arus di lautan, maka variasi tiupan angin sejatinya akan menimbulkan variasi dalam bentukkan arus pada daerah tempatnya terjadi. Angin pada musim timur diketahui lebih kencang dibandingkan dengan angin pada musim barat. Menurut Noya (2009), pada musim timur (bulan Juni – Agustus) angin cenderung bertiup lebih kencang dibandingkan pada saat musim barat (bulan Desember – Februari), pola perbedaannya juga ditunjukkan pada arah angin berhembus dimana pada musim timur angin dominan berhembus ke arah timur dan berlaku sebaliknya dimana angin bertiup ke arah barat ketika musim barat. Sifat angin sebagai pembentuk arus kemudian memberikan gambaran bahwa variabilitas angin akan mempengaruhi arus dan faktor-faktor lain yang dipengaruhi oleh arus.

2.3 *Upwelling* dan *Downwelling*

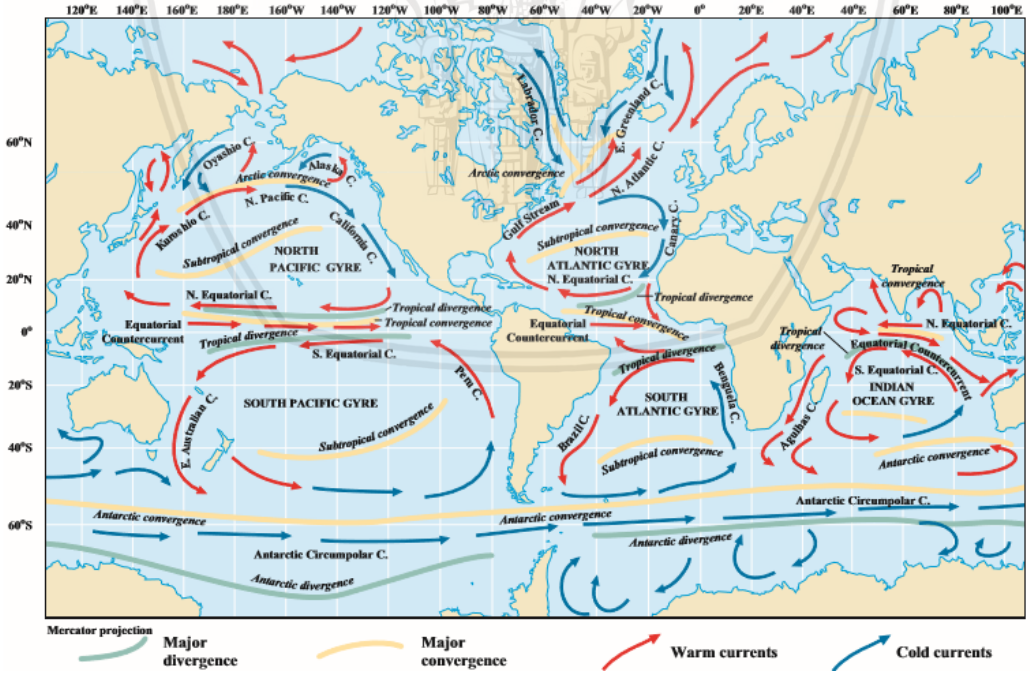
Pergerakkan massa air secara vertikal di lautan memiliki kaitannya dengan tegangan angin di permukaan. Ketika suatu massa air berkumpul dan pusatnya membentuk zona konvergensi, maka massa air di permukaan akan bertumpuk dan terjadi proses *sinking* atau tenggelamnya massa air dari permukaan. Menurut Colling (2001), pergerakkan massa air secara vertikal di lautan dapat terjadi bukan hanya secara horizontal tetapi berlaku juga secara vertikal dan didefinisikan sebagai *upwelling* atau *downwelling*. Upwelling didefinisikan sebagai pergerakan massa air sub-permukaan secara vertikal menggantikan massa air yang ada di permukaan. Sedangkan *downwelling* didefinisikan sebagai pergerakkan massa air di permukaan secara vertikal menggantikan massa air di bawahnya. Pernyataan Yona *et al.* (2017) mengemukakan skema *upwelling* terjadi ketika massa air mengalami penumpukkan yang membentuk zona divergensi akan menimbulkan kekosongan massa air di permukaan sehingga air yang lebih dalam menggantikannya, sedangkan pada skema *downwelling* massa air di permukaan mengalami penumpukkan sehingga massa air di permukaan bergerak ke bawah menuju kedalaman. Gambar berikut (Gambar 1) merupakan penggambaran skema pergerakkan massa air secara vertikal di lautan.



Gambar 1. Skema pusat divergensi dan konvergensi di belahan bumi utara

Profil konvergensi maupun divergensi suatu bentukkan massa air kemudian ditelisik memiliki perbedaan lain dari segi pola arus permukaannya. Berdasarkan fenomena di lautan, diketahui bahwa profil massa air laut yang terbentuk di belahan bumi bagian utara (*northern hemisphere*) dengan pusat konvergensi memiliki pola arus yang bergerak searah jarum jam (*clockwise*), sedangkan pusat divergensi memiliki pola arus yang bergerak berlawanan dengan arah jarum jam (*anti clockwise*). Menurut Colling (2001), massa air di belahan bumi utara (*norhern* hemisphere) yang pusatnya bersifat divergensi memiliki profil yang berlawanan dengan arah jarum jam sedangkan untuk pusat konvergensi arahnya searah dengan arah jarum jam. Hal yang sebaliknya ditunjukkan jika daerah terbentuknya

massa air dengan pusat konvergensi maupun divergensi terjadi di belahan bumi bagian selatan (*northern hemisphere*). Menurut Ramadyan and Radjawane (2013) pada bumi bagian selatan, *eddy* yang terbentuk dengan arah putaran searah jarum jam memiliki pusat konvergensi sehingga menimbulkan *downwelling* dan *eddy* dengan arah putaran berlawanan dengan arah jarum jam memiliki pusat divergensi sehingga menimbulkan *upwelling*. Hal tersebut erat kaitannya dengan vektor gaya coriolis berdasarkan bagian bumi. Jika pada belahan bumi bagian utara gaya coriolis memiliki arah pembelokkan ke kiri berdasarkan perspektif pandangan ke garis ekuator sedangkan pada bumi bagian selatan memiliki arah pembelokkan ke kanan dengan perspektif menuju ke garis ekuator. Hal tersebut dapat diidentifikasi melalui perbedaan pola *gyre* antara yang terbentuk di belahan bumi bagian utara dengan yang ada di belahan bumi bagian selatan, seperti ditunjukkan pada gambar berikut (Gambar 2).



Gambar 2. Peta pola *gyre* di belahan bumi utara dan selatan

Anomali tinggi muka air laut juga dapat memberikan gambaran terjadinya *upwelling* maupun *downwelling* di Laut. Menurut Umaroh *et al.* (2017), nilai negatif

dari anomali tinggi muka air laut menggambarkan kejadian *upwelling* sedangkan nilai positif dari anomali tinggi muka air laut mengindikasikan kejadi *downwelling*. Anomali tinggi muka air laut dengan nilai positif menunjukkan bahwa pada saat pengamatan terjadi *downwelling* karena sifat konvergensi menaikkan muka air laut. Sedangkan nilai negatif dari anomali tinggi muka air laut menunjukkan bahwa pada saat pengamatan terjadi *upwelling* karena sifat divergensi menurunkan tinggi muka air laut. Berdasarkan hal tersebut, penentuan dominasi kejadian *upwelling* dan *downwelling* di Laut dapat dilakukan dengan menganalisis pola anomali tinggi muka air laut.

2.3.1 Pengaruh *Upwelling* dan *Downwelling* terhadap Perairan

Pengadukan air secara vertikal memberikan kesempatan untuk regenerasi kandungan-kandungan kimiawi dan fisis perairan serta migrasi organisme-organisme di laut. Hal tersebut dikarenakan sifat hidrodinamika air yang dapat mengangkut sejumlah partikel-partikel yang menjadi properti massa air laut. Pengadukkan secara vertikal tersebut dapat meningkatkan produktivitas primer di tempat terjadinya pengadukkan tersebut. Menurut Sediadi (2010), profil pengadukkan secara vertikal dapat mempengaruhi kelimpahan fitoplankton di suatu perairan, namun jumlahnya akan berbeda jika pengadukkan itu dibedakan antara pengadukkan akibat *upwelling* dengan *downwelling*. Ketika terjadi pengadukkan akibat *upwelling*, kandungan fitoplankton cenderung akan lebih besar dibandingkan degnan ketika terjadi *downwelling*. Hal tersebut dikaitkan dengan sifat *upwelling* yang menaikkan massa air dari sub-permukaan yang membawa nutrien lebih banyak. Sedangkan pada saat *downwelling* massa air permukaan akan bergerak ke sub-permukaan sehingga massa air dengan nutrien yang lebih banyak tidak memiliki kesempatan untuk naik ke permukaan.

Terjadinya *upwelling* dan *downwelling* akan mempengaruhi struktur komunitas di laut. Sifat *upwelling* yang meningkatkan nutrien di kolm perairan sub-permukaan hingga ke permukaan akan memberikan kesempatan bagi produsen primer untuk berkembang. Menurut Anggraeni and Widagdo (2017), kelimpahan organisme pada tingkat tropik rendah akan meningkat sebagai konsekuensi pengkayaan nutrien akibat terjadinya *upwelling*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa terdapat kesempatan bagi tingkat tropik tingkat atas untuk mengalami kenaikkan kelimpahan karena melimpahnya organisme tingkat tropik yang lebih rendah. Namun terjadinya *upwelling* tidak serta merta langsung menigkatkan kelimpahan struktur komunitas di perairan karena pada dasarnya perpindahan energi dari satu tingkat tropik ke tingkat lainnya memerlukan waktu yang tidak sebentar. Menurut Ambriz-Arreola *et al.* (2012), sebagai salah satu konsekuensi peningkatan produktivitas primer akibat terjadinya *upwelling* meningkatkan kesempatan untuk pengkayaan struktur komunitas namun waktu peningkatannya memiliki periode yang cukup lama hingga berbulan-bulan.

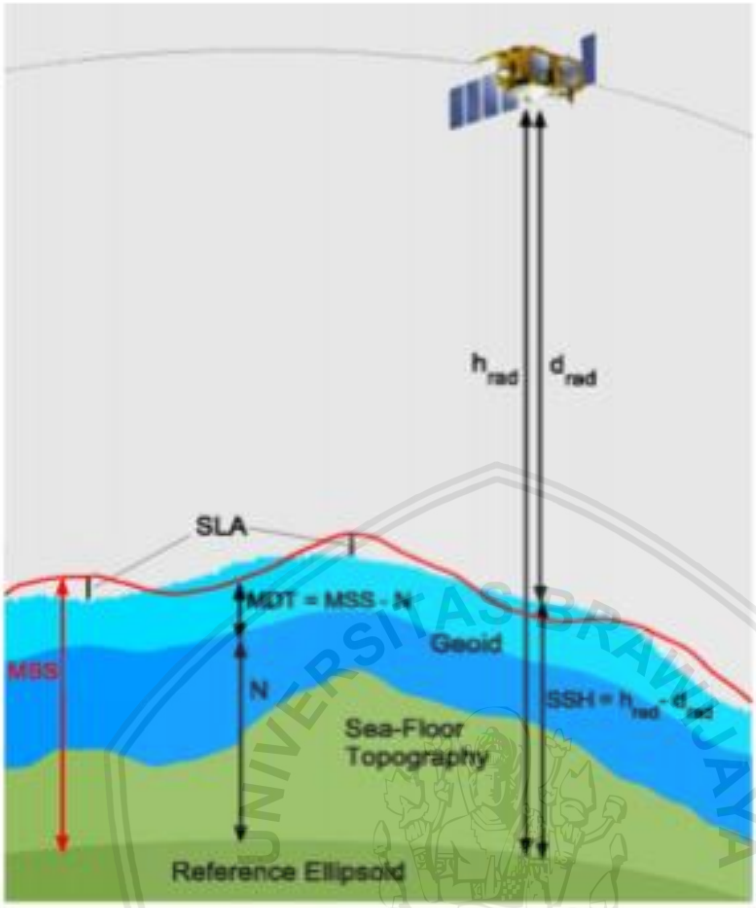
2.4 Metode Pengukuran Meenggunakan Satelit Altimetri

Deteksi arus di laut biasanya digunaka dengan alat yang memanfaatkan dua metode pendeteksian, yakni dengan metode lagrangian dan eularian. Perbedaan kedua metode tersebut hanya sebatas bagaimana agen pendeteksi (*tracer*) bekerja untuk mengukur arus di lautan. Menurut Price (2006) pengukuran gerak suatu fluida umumnya dilakukan dengan dua metode yakni metode eularian dan lagrangian dimana metode eularian mengukur gerak fluida pada titik tertentu (*fixed points*) sedangkan untuk metode lagrangian diukur dengan mengikuti pergerakkan arus. Keduanya memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Biasanya teknik lagrangian dilakukan dengan menggunakan alat pelacak yang dapat mengikuti pergerakkan arus seperti larutan *tracer* atau menggunakan *drifter buoy*.

Sedangkan untuk pengukuran dengan menggunakan metode eularian biasanya memanfaatkan alat mekanik.

Berkembangnya ilmu pengetahuan memberikan pembaruan bagi pengukuran arus. Alat-alat konvensional seperti menggunakan *current meter* konvensional sudah mulai digantikan dengan alat-alat canggih lainnya. Beberapa dari alat pengukur arus tidak hanya dapat mengukur kecepatan dan arah saja, beberapa alat modern bahkan bisa mengukur properti air sekaligus dalam satu kali pengukuran. Menurut Chelton *et al.* (2001), alat-alat modern pada saat ini telah didesain sedemikian rupa untuk mengukur kecepatan dan arah arus laut. Penelitian oleh Chelton *et al.* (2001) menambahkan bahwa salah satu alat modern yang sering digunakan dalam penelitian mengenai arus ialah satelit altimetri. Satelit altimetri mengestimasikan arus laut dengan memanfaatkan kelerengan (*slope*) topografi yang ditimbulkan akibat variabilitas ketinggian muka air laut.

Satelit altimetri didesain sedemikian rupa agar dapat mengukur ketinggian muka air laut dari angkasa. Menurut Yona *et al.* (2017), satelit altimetri memiliki keampuan yang dapat mengukur ketinggian muka air laut dengan mengukur ketinggian satelit di atas titik terdekat dari permukaan laut. Penggunaan satelit altimetri dapat memudahkan peneliti untuk mengamati fenomena-fenomena yang berkaitan dengan topografi di lautan dalam skala luas dan dengan skala temporal yang mencakup banyak waktu. Menurut Wuriatmo *et al*. (2016), dalam penilitan yang membutuhkan data dengan jumlah yang banyak diperlukan suatu alat penunjang, seperti dalam penelitian kontur topografi suatu perairan yang dimudahkan dengan teknologi satelit altimetri yang effisien dan efektif. Pengukuran data satelit altimetry diskemakan dalam gambar berikut (Gambar 3).



Gambar 3. Skema pengukuran pada satelit altimetri

Metode pengukuran tinggi muka air laut menggunakan satelit altimetri dicontohkan secara visual pada Gambar 3. Berdasarkan skema pengukuran dengan metode satelit altimetri (Gambar 3), estimasi tinggi muka air laut dilakukan dengan menghitung jarak antara satelit dengan muka air laut. Menurut peneliyian oleh Din *et al.* (2014), pengukuran tinggi muka air laut dengan menggunakan satelit altimetri dilakukan dengan mengukur jarak antara satelit dengan muka air laut mengacu dengan memancarkan gelombang mikro ke permukaan perairan. Berdasarkan referensi geometri, terdapat perbedaan antara referensi *geoid* dengan *elipsoid*. Menurut Blinken dan Koch (1999), terdapat variasi dalam penentuan muka air laut berdasarkan referensi geodetik, referensi geodetik tersebut diantaranya ialah referensi *elipsoid* dan referensi *geoid*. Komponen rata-rata tinggi muka air laut (*Mean Sea Surface*) umumnya diukur berdasarkan

referensi geometri yang mengasumsikan bumi berbentuk elips (*elipsoid*), sedangkan komponen seperti dinamika topografi absolut (*Absolute Dynamic Topography*) diukur berdasarkan referensi geometri yang mengasumsikan jika bumi memiliki kontur topografi permukaan yang tidak beraturan (*geoid*).

Pengukuran arus menggunakan satelit altimetri masih terbatas pada arus di permukaan. Arus laut dalam kedalaman tertentu masih belum dapat dipetakan karena belum ada teknologi yang mampu mengukurnya. Pengukuran arus pada satelit altimetri memanfaatkan dinamika topografi suatu perairan yang terjadi. Menurut Zhang *et al.* (2007), pengukuran arus dengan menggunakan satelit altimetri dilandaskan dengan teori yang dikemukakan oleh Navier-Stokes, dimana dalam teori tersebut mengukuhkan bahwa pengukuran pergerakkan massa air yakni dengan mengkombinasikan antara efek tekanan gradien, friksi internal, gradien gravitasi, dan gaya coriolis yang ditimbulkan oleh rotasi bumi. Berdasarkan teori tersebut maka dibuat suatu ekuasi yang merepresentasikan pergerakkan arus dengan rumus sebagai berikut.

$$U_s = -\frac{g}{f}\frac{\partial^2 \zeta}{\partial^2 y}$$

$$V_s = \frac{g}{f}\frac{\partial^2 \zeta}{\partial^2 y} \quad \text{.....(1)}$$

dimana, vs merupakan komponen kecepatan arus timur (meridional), us merupakan komponen kecepatan arus utara (zonal), f merupakan variabel gaya coriolis (f = 2fΩsin ϕ), sedangkan ζ merupakan dinamika tinggi muka air laut. Menurut Zhang *et al.* (2007), ekuasi dalam menentukan dinamika tinggi muka air laut yang disimbolkan dengan ζ ialah dengan mengurangi nilai ketinggian rata-rata muka air laut berdasarkan waktu (*H*) dengan undulasi geoid (*N*) atau dijabarkan dengan $\zeta = H - N$.

2.4.1 Data Satelit Altimetri

Pemetaan berdasarkan satelit altimetri biasanya mengandalkan satelit yang dapat didukung dengan alat pengukur altimetri, namun satelit altimetri biasanya memiliki cakupan spasial terbatas. Menurut Feng *et al*. (2018) pengamatan arus geostropik menggunakan data satelit altimetri memiliki keterbatasan dimana cakupan satelit biasanya tidak luas sehingga daerah yang diteliti. Kekurangan dari satelit altimetri yang memiliki daerah kosong (tanpa tangkapan citra) membuat beberapa organisasi membuat suatu kumpulan data yang menggabungkan beberapa data satelit altimetri. Menurut Taburet *et al.* (2019), data multimisi merupakan data gabungan dari beberapa misi pengamatan, salah satu data multimisi yang disediakan secara gratis ialah SSALTO/DUACS yang disediakan oleh AVISO. Menurut CMEMS (2019) data yang disajikan dalam produk SSALTO/DUACS merupakan data multimisi yang menggabungkan data dari beberapa satelit altimetri seperti Jason-3, Saral/AltiKa, Sentinel-3A, HY-2A, Cryosat-2, Jason-2, Jason-1, T/P, ENVISAT, GFO, dan ERS1/2. CMEMS (2019) juga menambahkan bahwa data reproses yang disediakan merupakan data yang sudah dihomogenisasikan dengan mengacu pada program OSTM/Jason-2 dan disajikan dalam bentuk data *grid* (“*.grd*”).

Data mengenai pemetaan arus geostropik tersedia dan dapat diunduh melalui laman *Copernicus Marine Environment Monitoring Services* (CMEMS) yang berbasis di Perancis. Data yang dibutuhkan dalam memetakan arus geostropik tersebut terindeks dalam produk SSALTO/DUACS dan sudah dikoreksi dengan data *drifter*. Menurut Dibarboure *et al.* (2006), DUACS (*Developing Use of Altimetry for Climate Studies*) dikembangkan oleh komisi eropa pada tanggal 5 Februari 1997. Menurut Ramadyan and Radjawane (2013), produk SSALTO/DUACS merupakan produk spesifik yang memuat data-data seperti kecepatan arus geostropik (*Geostrophic Velocities*) dan dinamika topografi absolut

(*Absolute Dynamic Topography*) sejak tahun 1994 dan berlanjut sampai sekarang. Data SSALTO/DUACS tersebut awalnya didistribusikan oleh *Archiving Validation Interpolation of Satellite Oceanography* (AVISO), namun untuk daerah kajian secara global telah didiseminasikan dan didistribusikan oleh *Copernicus Marine Environment Monitoring Services* (CMEMS).

A. Absolute Dynamic Topography (ADT)

Karateristik arus geostropik yang membentuk lintasan siklonik atau antisiklonik di perairan mengakibatkan terjadinya fluktuasi tinggi permukaan laut dalam lintasan arus geostropik tersebut. Berdasarkan karakteristik tersebut, dalam analisis arus geostropik dapat digunakan data berupa dinamika ketinggian permukaan laut. Standar data yang digunakan dalam memetakan arus geostropik ialah dengan menganalisis dinamika absolut topografi. Menurut Ramadyan and Radjawane (2013), topografi dinamik merupakan perbedaan tinggi muka air laut di atas *geoid* sedangkan topografi dinamik absolut merupakan terminologi yang berkaitan dengan *slope* muka air permukaan. Perhitungan topografi dinamik absolut dijabarkan sebagai berikut.

$$ADT = MDT + SLA \quad (2)$$

dimana, ADT merupakan *Absolute Dynamic Topography*, MDT merupakan *Mean Dynamic Topography*, dan SLA merupakan *Sea Level Anomalies.*

Berdasarkan penjabaran ekuasi tersebut dapat diketahui bahwa topografi dinamik absolut (*Absolute Dynamic Topography*) merupakan gabungan antara rerata topografik dinamik dan anomali muka air laut yang terjadi. Menurut penelitian oleh Chang *et al.* (2016), metode untuk menentukan bentukkan arus geostropik di laut dengan mengacu pada *Absolute Dynamic Topography* (ADT)/Topografi Dinamik Absolut pertama kali dicetuskan oleh Wunsch dan Gaposchkin karena penentuan secara konvensional dengan mengacu pada

asumsi "*level of no-motion*" pada bentukkan arus geostropik tidak *valid* dalam konteks laut global. Metode pengukuran arus geostropik berdasarkan dinamika topografi absolut memanfaatkan sifat tekanan gradien kumpulan massa air.

B. Vektor Kecepatan Arus Geostropik

Arus geostropik memiliki komponen lain selain berdasarkan bentukkannya yang mengakibatkan fluktuasi topografi permukaan laut yakni kecepatan arus. Menurut Park (2004), kalkulasi kecepatan arus berdasarkan satelit altimetri umumnya dilakukan dengan menambahkan data dari alat pendeteksi arus buatan (*synthetic current profiler*) atau dengan menggunakan rumus sifat benda cair yang menimbulkan kecepatan ketika mengalami perputaran (*vorticity equation*). Data kecepatan arus geostropik dari produk SSALTO/DUACS merupakan data yang didapatkan dari interpolasi data yang dihasilkan oleh *drifter*. Menurut Aviso (2018), data kecepatan arus pada produk L4 misi SSALTO/DUACS didapatkan dengan menggabungkan data dari SVP *drifter* yang didistribusikan oleh SD-DAC oleh badan internasional NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) dibandingkan dengan data kalkulasi dari satelit altimeter, berikut merupakan rumus penggabungan antara dua data untuk menghasilkan data kecepatan arus pada produk SSALTO/DUACS.

$$U_{impr} = 100*(1-(RMSU_{opt}/RMSU_{bck})^2)$$

$$V_{impr} = 100*(1-(RMSV_{opt}/RMSV_{bck})^2).....(3)$$

Data kecepatan arus geostropik yang disediakan dalam produk SSALTO/DUACS disajikan dalam bentuk kecepatan arus meridional (v) dan kecepatan arus zonal (u). Penentuan kecepatan arus geostropik membutuhkan data kecepatan absolut arus geostropik. Menurut Sudre *et al.* (2013) untuk

mengetahui arah dan kecepatan arus geostropik dibutuhkan komponen meriodional dan zonal, rumus resultan yang digunakan ialah.

$$R= \sqrt{u^2 + v^2} \text{.....(4)}$$

Notasi R dalam rumus tersebut merujuk pana nilai resultan, sedangkan notasi *u* merupakan komponen arus zonal dan notasi *v* merupakan komponen arus meridional. Rumus resultan kecepatan aurs geostropik yang digunakan untuk mengetahui arah serta kecepatan melalui komponen arus zonal dan meridional tersebut juga digunakan di beberapa penelitian seperti oleh Dimas *et al*. (2015) dan penelitian yang telah dilakukan oleh Ramadyan and Radjawane (2013).

C. Anomali Tinggi Muka Air Laut

Data anomali tinggi muka air laut dapat diukur melalui pegamatan satelit altimetri. Anomali tinggi muka air laut didefinisikan sebagai penyimpangan kondisi muka air laut rata-rata. Satelit altimetri memuat informasi anomali tinggi muka air laut yang didapat dengan menghitung penyimpangan muka air laut yang terekam pada beberapa misi pengamatan satelit altimetri. Menurut Marpaung dan Harsanugraha (2014), satelit altimetri seperti Topex/Poseidon, Jason-1, Envisat, dan Jason-2, memuat data anomali tinggi muka air laut. SSALTO/DUACS sebagai produk dari berbagai misi satelit altimetri memuat data anomali tinggi muka air laut dengan skala pengamatan global. Menurut Umaroh *et al.* (2017), data anomali tinggi muka air laut dalam produk multimisi SSALTO/DUACS yang dikumpulkan dari beberapa misi satelit altimetri. Pengukuran anomali tinggi muka air laut pada satelit altimetri disederhanakan dalam rumus sebagai berikut.

$$SLA = SSH – MSS \text{.....(5)}$$

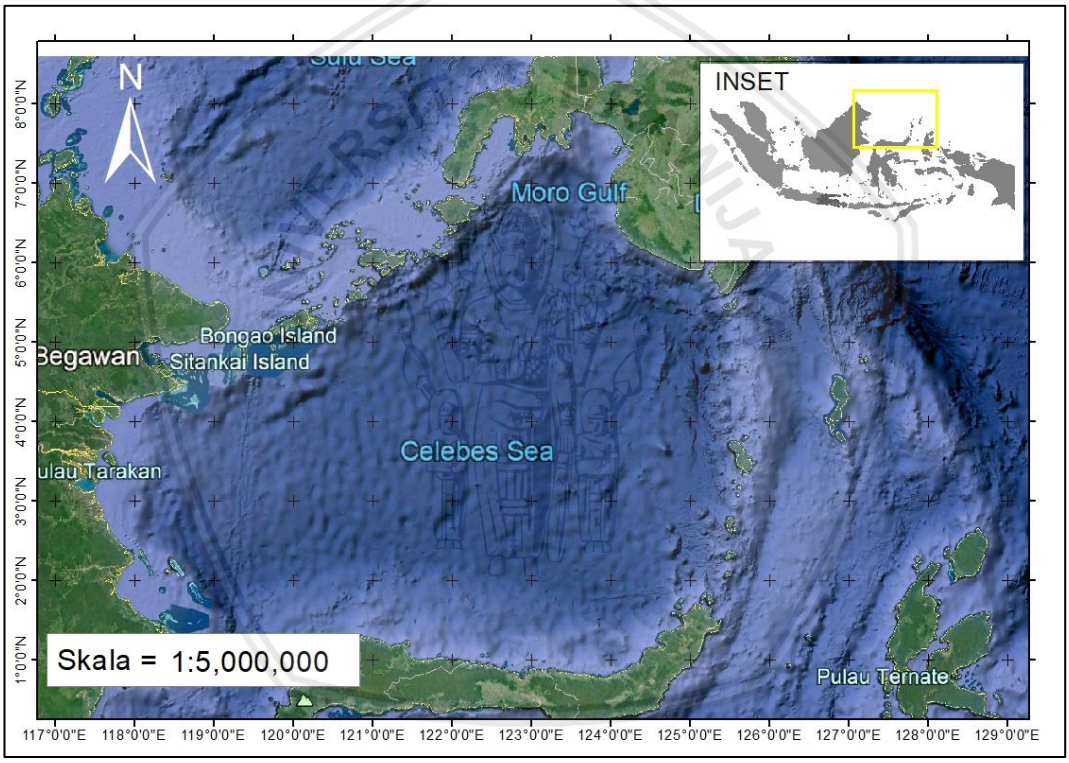
Dimana, SLA (*Sea Level Anomaly*) merupakan anomali tinggi muka air laut, SSH (*Sea Surface Height*) tinggi muka air laut berdasarkan referensi elipsoid, dam MSS (*Mean Sea Surface*) rata-rata tinggi muka air laut.

Nilai SLA dapat menunjukkan fluktuasi muka air laut di daerah kajian penelitian. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Umaroh *et al.* (2017) nilai anomali tinggi muka air laut dapat menjelaskan fenomena fluktuasi muka air laut karen memuat informasi simpangan rata-rata muka air laut terhadap kedudukan muka air laut rata-rata. Penelitian oleh Delman *et al.* (2018) menunjukkan bahwa anomali tinggi muka air laut memiliki kaitan dengan kejadian arus geostropik. Arus geostropik mengakibatkan terjadinya zona konvergensi dan divergensi pada pusat terjadinya arus geostropik siklonik. Berdasarkan Colling (2001) pada belahan bumi bagian utara (*northern hemisphere*) zona konvergensi berhubungan dengan arus geostropik antisiklonik dan zona divergensi berhubungan dengan arus geostropik siklonik. Sifat zona konvergensi dapat menyebabkan pengadukkan kolom air secara vertikal yang menyebabkan *downwelling*, sedangkan zona divergensi menyebabkan *upwelling*.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan rekaman data SSALTO/DUACS yang terekam dari tahun 1994 sampai dengan tahun 2017. Penelitian ini meninjau lokasi di Laut Sulawesi pada rentang koordinat lintang 1^0 LU - 6^0 LU dan bujur 117^0 BT – 129^0 BT . Berikut merupakan peta lokasi yang diteliti. Berikut merupakan peta lokasi dalam penelitian ini (Gambar 4).



Gambar 4. Peta lokasi penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang dimanfaatkan dalam penelitian ini agar dapat mencapai tujuan penelitian. Alat yang digunakan untuk mencapai tujuan dalam penelitian ini dijelaskan secara rinci pada Tabel 1. Bahan yang digunakan untuk mencapai tujuan dalam penelitian ini dijelaskan secara rinci pada Tabel 2.

Tabel 1. Alat yang digunakan

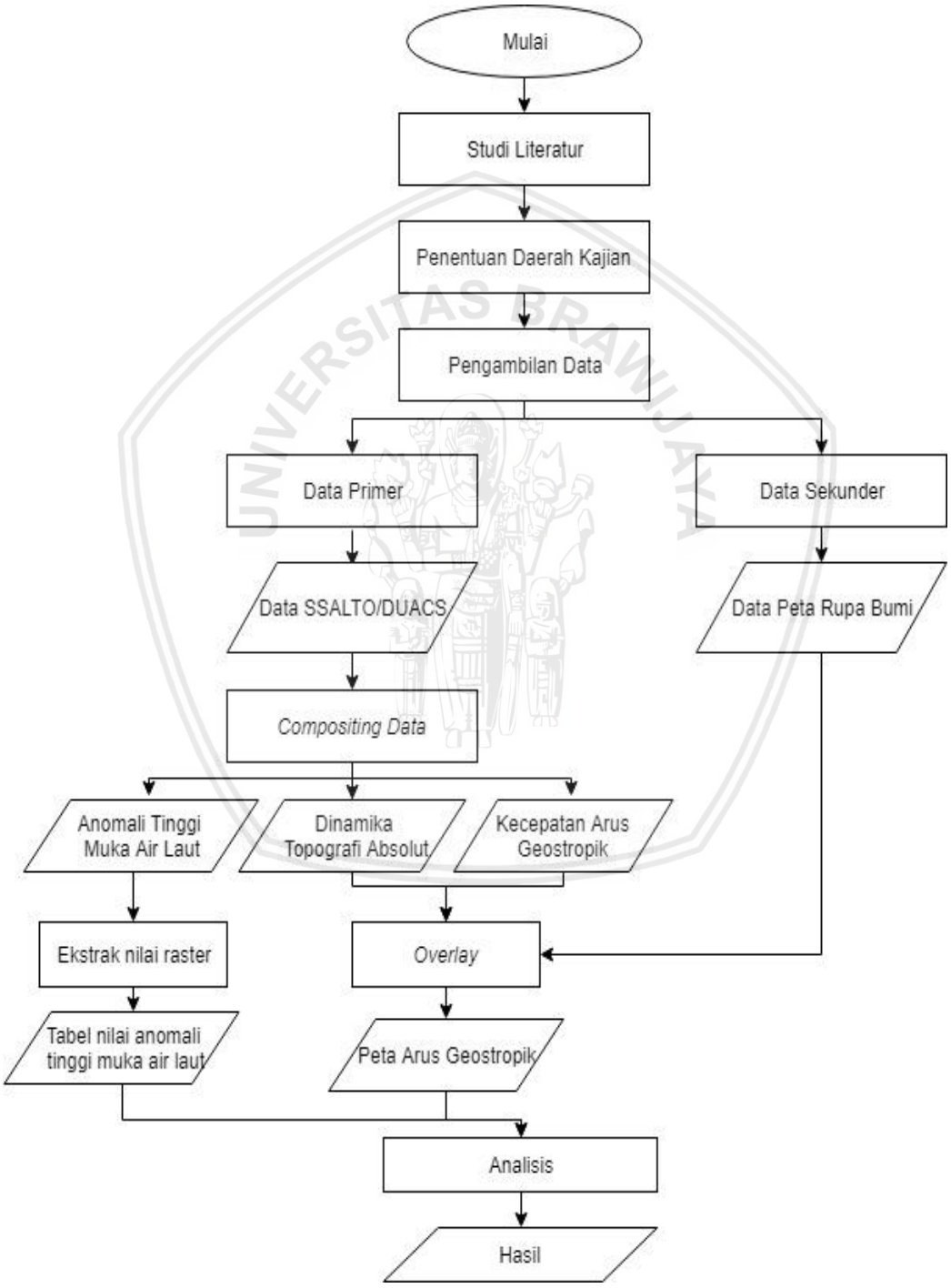
NO	Alat	Fungsi
1	Laptop, 4 GB RAM, Intel Core i5 CPU, 64-bit Windows	Perangkat keras pengolah data
2	Google Chrome 64-bit	Perangkat lunak penjelajah web dan mengunduh data SSALTO/DUACS.
3	IDV v5.5 64-bit	Perangkat lunak pengolah data ".nc".
4	ODV 4.7.10 64-bit	Perangkat lunak pengonversi data ".nc" menjadi ".txt".
5	Ms. Excel 2016 64-bit	Perangkat lunak pengonversi data ".txt" ke dalam format tabel dan melakukan uji statistik.
6	Surfer 10 64-bit	Perangkat lunak pengolah data grid dan kontur muka air laut serta vektor kecepatan arus geostropik.
7	ArcMap 10.3	Perangkat lunak pengonversi nilai raster.
8	Minitab 17	Perangkat lunak untuk melakukan uji statistik dan

Tabel 2. Bahan yang digunakan dalam penelitian

NO	Bahan	Fungsi
1	Data grid SSALTO/DUACS tahun 1994 - 2017	Untuk diolah menjadi peta kontur topografi massa air laut, vektor arah, kecepatan arus geostropik, dan anomali tinggi muka air laut.
2	Peta rupa bumi Indonesia	Mengetahui batas wilayah.
3	Index Nino 4	Untuk diolah menjadi grafik *tren shift* fase El-Nino dan La-Nina

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan penelitian di lapang dapat dilihat pada diagram alir (Gambar 5). Prosedur penelitian menggambarkan alur penelitian mulai dari awal hingga mencapai tujuan awal penelitian.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

3.4 Pengambilan Data

Pengambilan data SSALTO/DUACS melalui laman COPERNICUS yakni pada alamat *url* http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/. Data yang dipilih dalam katalog produk di laman COPERNICUS tersebut ialah SEALEVEL_GLO_PHY_L4_REP_OBSERVATIONS_008_047. Data yang diunduh dari laman COPERNICUS memiliki interval rekaman data satu tahun. Parameter yang dipilih dalam katalog data diantaranya ialah kecepatan arus geostropik absolut (meridional dan zonal), topografi dinamik absolut, *sea level anomalies,* dan kecepatan arus geostropik meriodional serta zonal absolut. Jenis data yang diunduh memiliki jenis data berekstensi ".nc" yang berisikan tiga parameter (dinamika topografi absolut, anomali tinggi muka air laut, dan kecepatan arus geostropik absolut).

3.5 Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan diantaranya dengan membuat peta *overlay* arus geostropik dengan dinamika topografi absolut pada puncak musim timur dan musim barat, grafik kejadian arus geostropik, dan membuat grafik anomali tinggi muka air laut. Alur pengolahan data dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga berdasarkan tujuan penelitian yakni pengolahan data arus geostropik serta dinamika topografi absolut, pengolahan data grafik kejadian arus geostropik, dan pengolahan data anomali tinggi muka air laut. Hasil pengolahan data peta *overlay* arus geostropik dan dinamika topografi absolut dan hasil pengolahan data grafik kejadian arus geostropik digunakan untuk mengidentifikasi pola arus geostropik pada puncak musim timur dan musim barat. Pengolahan data anomali tinggi muka air laut dilakukan untuk membandingkan pola arus geostropik dan menganalisis potensi terjadinya *upwelling* dan *downwelling* pada puncak musim barat dan musim timur.

3.5.1 Pengolahan Data Peta Arus Geostropik

Data yang digunakan untuk membuat peta arus dan dinamika topografi absolut ialah data telah diunduh dari laman COPERNICUS dipisahkan terlebih darhulu berdasarkan parameternya. Parameter yang digunakan untuk membuat peta *overlay* arus geostropik dan dinamika topografi absolut ialah data dinamika topografi absolut dan kecepatan arus geostropik meridional (*u*) dan zonal (*v*). Alur pengolahan data peta arus geostropik dan dinamika topografi absolut ialah dengan membuat data rata-rata selama tahun 1994 – 2017 yang disusun berdasarkan bulan terjadinya musim barat dan musim timur, ekstraksi data, dan *overlay* vektor arus geostropik dengan dinamika topografi absolut.

3.5.1.1 Penyusunan Data Rata-rata Arus Geostropik

Penyusunan data rata-rata arus geostropik dan dinamika topografi absolut dilakukan untuk menyusun data arus geostropik dan data dinamika topografi absolut berdasarkan bulan pengamatan terlebih dahulu. Penyusunan data berdasarkan bulan dilakukan dengan menggunakan *toolbox merge time sequence* dalam perangkat lunak *Integrated Data Viewer* (IDV). Hasil dari penyusunan data arus geostropik dan dinamika topografi absolut berdasarkan bulan pengamatan. Data yang telah tersusun kemudian dirata-ratakan dengan menggunakan *toolbox average time steps* dalam perangkat lunak IDV. Penyusunan data rata-rata arus geostropik menghasilkan data rata-rata kecepatan arus geostropik dan dinamika topografi absolut bulanan selama 1997-2017 yang terbagi berdasarkan bulan terjadinya puncak musim barat dan musim timur.

3.5.1.2 Ekstraksi Data Rata-rata Arus Geostropik dan Dinamika Topografi Absolut

Data arus geostropik dan dinamika topografi absolut yang telah terkomoposit kemudian diekstraksi agar dapat diolah menjadi kontur serta vektor. Ektraksi data tersebut dilakukan dengan perangkat lunak ODV. Data komposit yang masih

dalam bentuk ".nc" diekstrak menjadi data teks lalu data teks tersebut disortir dengan menggunakan perangkat lunak Ms. Excel dan disusun dalam bentuk tabel data. Data yang telah tersortir dan tersusun tersebut sudah dapat diolah menjadi peta kontur serta vektor arus. Hasil ekstraksi tersebut kemudian dapat dibuka dan diolah dalam Surfer 10. Data yang kompatibel dengan perangkat lunak Surfer 10 hanyalah data teks yang tersusun dalam tabel. Parameter data yang diekstraksi diantaranya ialah koordinat, nilai topografi, dan kecepatan arus meridional serta zonal.

3.5.1.3 *Overlay* Peta Arus Geostropik

Data yang telah terekstrak kemudian diolah agar dapat divisualisasikan dalam bentuk peta kontur topografi dan vektor kecepatan arus geostropik. Pembuatan kontur topografi dinamik absolut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Surfer 10. Metode interpolasi yang digunakan dalam membuat kontur topografi tersebut ialah metode *krigging*. Pembuatan vektor kecepatan arus geostropik dilakukan dengan membuat resultan dari dua komponen arus. Komponen yang digunakan diantaranya ialah kecepatan arus meridional (v) dan kecepatan arus zonal (u). Kontur tersebut kemudian disatukan dengan metode tumpang susun (*overlay*) agar data tersebut dapat dianalisis bentukkannya berdasarkan pola pergerakkan arus serta kontur topografinya. Peta arus geostropik yang disusun dari peta kontur dan peta vektor dibuat berdasarkan musim.

3.5.2 Pengolahan Data Grafik Kejadian Arus Geostropik

Pengolahan data grafik kejadian arus geostropik dilakukan dengan mengidentifikasi dan mencatat kejadian arus geostropik siklonik dan antisiklonik tiap bulan selama tahun 1994 sampai dengan tahun 2017. Alur pengolahan data grafik kejadian arus geostropik diawali dengan penyusunan komposit data rata-rata arus geostropik dan dinamika topografi absolut tiap bulan selama tahun 1994

sampai dengan tahun 2017. Komposit data tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk vektor arus geostropik dan kontur dinamika topografi absolut pada *display* perangkat lunak IDV. Kejadian arus geostropik kemudian diidentifikasi berdasarkan pola gerak arusnya dan dicatat jumlah kejadiannya tiap bulan. Berikut merupakan langkah-langkah pengolahan data grafik kejadian arus geostropik.

3.5.2.1 Penyusunan Komposit Data Arus Geostropik

Komposit data rata-rata arus geostropik dan dinamika topografi absolut dibuat secara terpisah. Data kecepatan arus geostropik disusun dengan menggunakan perintah *merge time sequences* pada perangkat lunak IDV. Data disusun berdasarkan bulan dari tahun 1994 – 2017. Data yang telah tersusun berdasarkan bulan pengamatan kemudian dirata-ratakan tiap bulannya dengan menggunakan perintah *compute yearly means.* Data dinamika topografi absolut kemudian disusun komposit datanya seperti halnya penyusunan komposit data rata-rata arus geostropik.

3.5.2.2 Identifikasi, Pencatatan, dan Pembuatan grafik Kejadian Arus Geostropik

Identifikasi dilakukan dengan mengamati arah arus pada vektor arus geostropik yang ditampilkan pada *display* perangkat lunak IDV. Kejadian arus geostropik dicatat jumlah kejadiannya tiap bulan selama tahun 1994 – 2017. Pencatatan arus geostropik siklonik dan antisiklonik dilakukan secara terpisah. Jumlah kejadian arus geostropik dicatat dalam tabel yang dilakukan dalam perangkat lunak Microsoft Excel. Identifikasi dan pencatatan arus geostropik menghasilkan data tabel kejadian arus geostropik siklonik dan kejadian arus geostropik antisiklonik. Kedua tabel tersebut kemudian dibuat grafik kejadian arus geostropik siklonik dan antisiklonik dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel.

3.5.3 Pengolahan Data Anomali Tinggi Muka Air Laut

Pengolahan data anomali tinggi muka air laut dilakukan dengan membuat komposit data anomali tinggi muka air laut, mengekstrak nilai anomali tinggi muka air laut, dan menyusun data nilai anomali tinggi muka air laut ke dalam tabel. Perangkat lunak yang digunakan dalam pengolahan data anomali tinggi muka air laut diantaranya ialah IDV, Arcmap 10.3, dan Microsoft Excel. Data anomali tinggi muka air laut selanjutnya akan dianalisis untuk membandingkan pola arus geostropik pada puncak terjadinya musim barat dan musim timur serta menganalisis potensi terjadinya *upwelling* dan *downwelling* pada puncak musim barat dan musim timur.

3.5.3.1 Penyusunan Komposit Data Anomali Tinggi Muka Air Laut

Penyusunan komposit data anomali tinggi muka air laut dilakukan dengan memisahkan data anomali tinggi muka air laut dari data multimisi SSALTO/DUACS yang telah diunduh dari laman COPERNICUS. Data yang telah terpisah kemudian disusun berdasarkan bulan pengamatan dengan menggunakan *toolbox merge time sequence* dalam perangkat lunak IDV. Data yang telah tersusun berdasarkan bulan pengamatan kemudian dibuat rata-rata bulanannya dengan *toolbox compute yearly means* dalam perangkat lunak IDV. Penyusunan komposit data anomali tinggi muka air laut menghasilkan data rata-rata anomali tinggi muka air laut tiap bulan dari tahun 1994 – 2017.

3.5.3.2 Ekstraksi Data Nilai Anomali Tinggi Muka Air Laut

Ekstraksi data nilai anomali tinggi muka air laut dilakukan untuk mendapat nilai dalam bentuk numerik dari data komposit anomali tinggi muka air laut yang masih dalam bentuk *raster* (citra). Ekstraksi tersebut dilakukan dengan mengubah data komposit anomali tinggi muka air laut terlebih dahulu dari tipe ".nc" menjadi ".tif" dengan menggunakan perangkat lunak ArcMap. Data komposit yang telah diubah

tersebut kemudian diekstrak dengan menggunakan *toolbox extract multivalues to point* dalam perangkat lunak ArcMap berdasarkan titik sampel yang sudah ditentukan. Titik sampel ditentukan secara acak namun masih berada di dalam daerah kajian penelitian. Perintah *toolbox extrack multivalues to point* menghasilkan tabel yang berisikan nilai anomali tinggi muka air laut dalam bentuk CSV (*Comma Separated Values*). Perangkat lunak Microsoft Excel digunakan untuk mengubah format data CSV ke dalam data tabel.

3.6 Analisis Data

Analisis data arus geostropik dilakukan dengan mengidentifikasi pola topografi air laut dan dengan arah arus geostropik. Identifikasi tersebut berlandaskan pada sifat arah arus geostropik dan pola topografinya. Identifikasi arah arus geostropik dilakukan dengan menganalisis apakah arus tersebut memiliki aliran searah atau berlawanan arah dengan arah putar jarum jam. Berdasarkan arah arus geostropik juga dianalisis sifat pusat arus geostropik tersebut. Analisis sifat pusat tersebut dibagi menjadi dua sifat yakni sifat konvergensi atau divergensi. Analisis berdasarkan kontur topografi dilakukan juga untuk mencocokkan antara arah arus sesuai dengan kontur topografi arus geostropik tersebut. Analisis pola arus geostropik juga dibagi berdasarkan bulan untuk merepresentasikan musim monsoon. Pembagian analisis berdasarkan musiman dilakukan untuk mengetahui perbedaan pola arus geostropik dan potensinya bagi perikanan berdasarkan musim monsoon barat dan timur. Pemilihan dua periode musim tersebut berdasarkan pengaruh kedua musim tersebut yang signifikan.

3.6.1 Analisis Pola Arus Geostropik

Analisis profil arus geostropik dilakukan guna mencapai tujuan penelitian yakni untuk mengetahuiu pola arus geostropik selama musim barat dan musim timur. Analisis profil arus geostropik pada musim barat dan timur dilakukan dengan dua

metode yakni secara deskriptif dan menggunakan analisis *time series.* Analisis profil arus geostropik secara deskriptif dilakukan dengan mengidentifikasi pola pergerakkan arah arus dan karakter topografi perairan pada periode puncak musim barat dan musim timur. Analisis *time series* dilakukan dengan mencatat jumlah kejadian arus siklonik maupun antisiklonik dilakukan. Jumlah arus siklonik dan antisiklonik selanjutnya disajikan dengan grafik *time series* jumlah kejadian arus siklonik maupun antisiklonik.

Analisis jumlah kejadian arus geostropik siklonik dan anti-siklonik dilakukan dalam beberapa penelitian yang telah dilakukan. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini merujuk pada beberapa penelitian terkait dengan arus geostropik seperti yang dilakukan dalam penelitian oleh Ramadyan and Radjawane (2013), Umaroh *et al.* (2017), Marpaung and Prayono (2014), Salama Kamel (2010), Yuwono and Su'udi (2018), dan Matulessy (2014). Analisis kejadian arus geostropik yang dilakukan dalam penelitian ini dilakukan dengan menghitung jumlah kejadian arus geostropik secara siklonik maupun anti-siklonik pada dua musim yang berbeda dan menganalisisnya dengan analisis *time series*. Pemilihan waktu analisis pada puncak terjadinya musim barat dan musim timur dilakukan agar mendapatkan perbedaan yang signifikan, karena pada musim barat dan musim timur profil oseanografi yang berbeda.

3.6.2 Analisis Tren Anomali Tinggi Muka Air Laut (*Sea Level Anomalies)*

Analisis anomali tinggi muka air laut (*Sea Level Anomalies*/SLA) digunakan dalam penelitian ini untuk membandingkan pola arus geostropik yang terjadi pada puncak terjadinya musim *monsoon* (musim barat dan musim timur) di Laut Sulawesi. Analisis anomali tinggi muka air laut untuk menentukan tren kejadian arus geostropik pada puncak terjadinya siklus musim *monsoon* (musim barat dan musim timur) berdasarkan penelitian oleh Umaroh *et al.* (2017) dan Matulessy

(2014). Berbeda dengan penelitian terdahulu yang hanya menganalisis tren kejadian arus geostropik berdasarkan rata-rata anomali tinggi muka air laut tiap bulannya, dalam penelitian ini analisis anomali tinggi laut dilakukan dengan uji statistik *student t-test* untuk mengetahui tren yang terjadi sepanjang tahun 1994 – 2017. Uji statistik *student t-test* dilakukan melalui *toolbox regime shift analysis*. Hasil dari *toolbox* tersebut berupa grafik tren yang kalkulasinya berdasarkan uji statistik *student t-test.* Nilai tren positif (>0) menunjukkan tren dominasi arus geostropik antisiklonik, sedangkan nilai tren negatif (<0) menunjukkan tren dominasi arus geostropik siklonik. Tren dengan jangka waktu yang sesuai dengan lama waktu periode musim *monsoon* (barat dan timur) memiliki lama waktu lima sampai dengan enam bulan.

3.6.3 Analisis Potensi *Upwelling* dan *Downwelling*

Analisis potensi *upwelling* dan *downwelling* dilakukan dengan mensintesis hasil analisis pola arus geostropik dan hasil analisis *student t-test shift* data anomali tinggi muka air laut. Identifikasi *upwelling* dan *downwelling* mengacu pada karakteristik pola arus geostropik antisiklonik maupun siklonik. Hasil analisis anomali tinggi muka air laut menjadi acuan potensi waktu terjadinya *upwelling* maupun *downwelling*. Tren positif dari hasil uji *student t-test* mengindikasikan waktu yang potensial terjadinya *downwelling*, sedangkan tren negatif dari hasil uji *student t-test* mengindikasikan waktu yang potensial terjadinya *upwelling.* Hasil dari analisis potensi *upwelling* dan *downwelling* menjelaskan bagaimana potensi terjadinya *upwelling* dan *downwelling* pada musim barat dan musim timur.

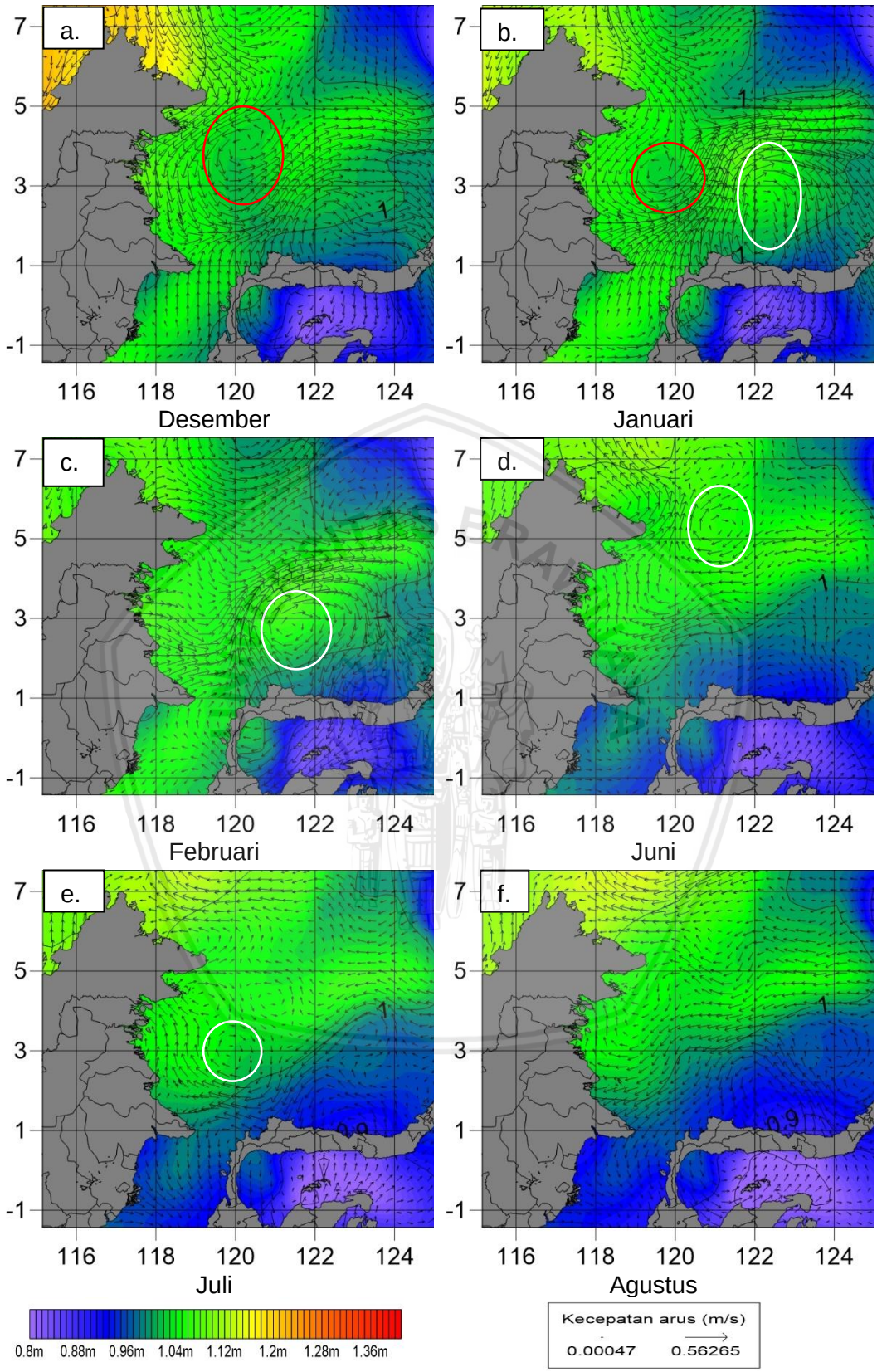
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Identifikasi Pola Arus Geostropik

Pembahasan terkait hasil identifikasi pola arus geostropik disajikan dalam bentuk kualitatif dan kuantitatif. Bentuk kualitatif ditunjukkan untuk mengetahui karakteristik dari pola arus geostropik yang teridentifikasi serta dinamika yang terjadi berkaitan dengan arus geostropik. Data kualitatif yang diperlihatkan dalam penelitian ini ialah data peta *overlay* arus geostropik dan dinamika topografi absolut. Bentuk kualitatif yang ditunjukkan untuk mengetahui kuantitas arus geostropik yang dibedakan berdasarkan polanya. Data kuantitatif yang disajikan dalam penelitian ini ialah berupa grafik kejadian arus geostropik siklonik dan arus geostropik antisiklonik.

4.1.1 Pola Arus Geostropik

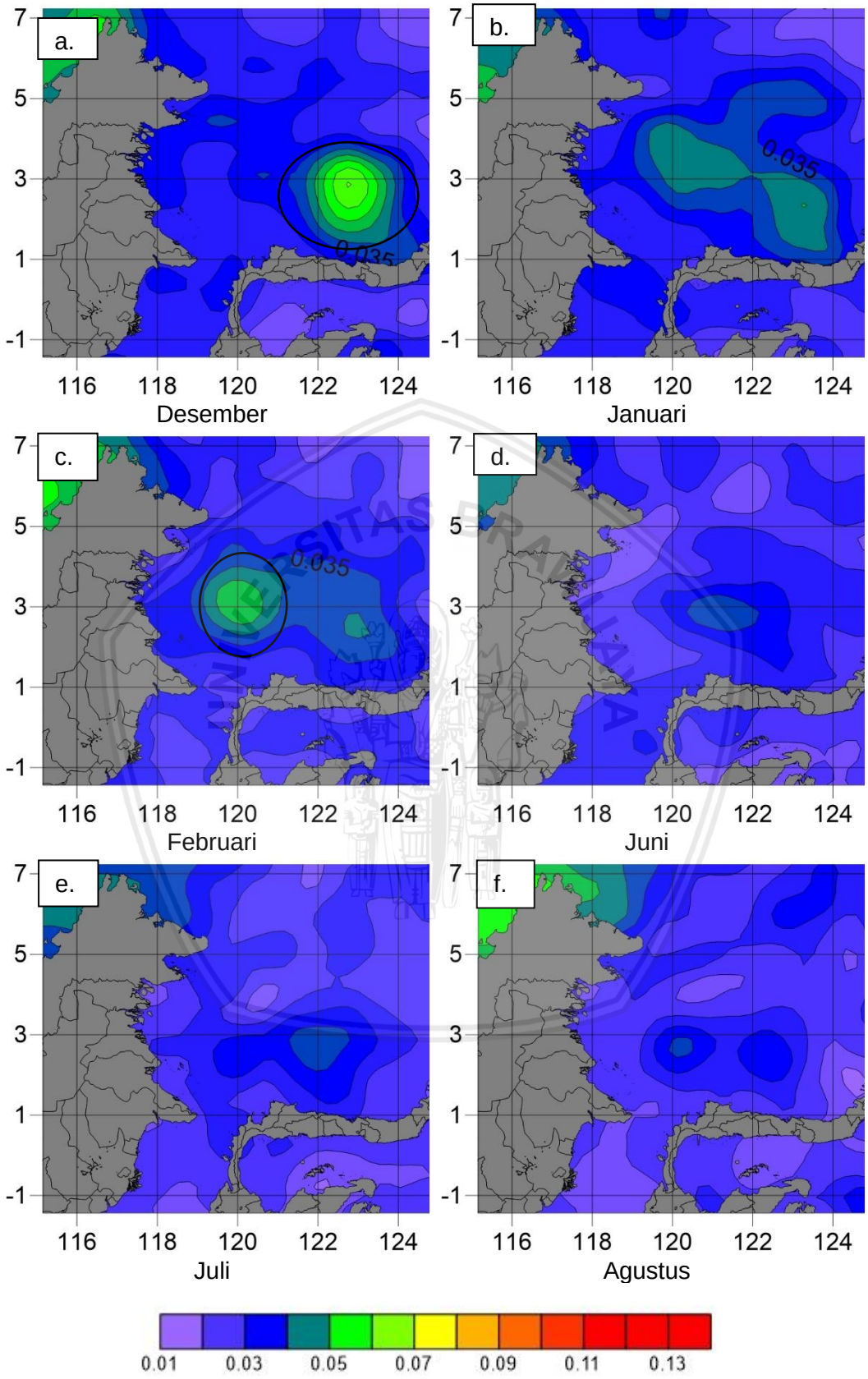
Peta *overlay* rata-rata arus geostropik dan dinamika topografi merupakan gabungan data komposit data bulana kecepatan arus geostropik dan dinamika topografi absolut. Peta tersebut menjadi objek yang digunakan untuk mengetahui bagaimana karakteristik dari arus geostropik siklonik dan antisiklonik di Laut Sulawesi sebagai daerah kajian penelitian. Selain itu, peta nilai standar deviasi dari rata-rata dinamika topografi absolut juga ditampilkan untuk melihat variasi yang ditunjukkan oleh dinamika topografi absolut. Peta nilai standar deviasi dari dinamika topografi absolut akan menjadi dasar yang dapat memprediksi dinamika arus geostropik secara temporal dan spasial. Berikut merupakan peta *overlay* rata-rata arus geostropik dan dinamika topografi absolut (Gambar 6).



Gambar 6 peta *overlay* rata-rata arus geostropik dengan dinamika topografi absolut (Keterangan: lingkaran merah menandakan arus geostropik siklonik, putih menandakan arus geostropik antisiklonik)

Peta arus geostropik yang telah diolah diidentifikasi berdasarkan periode musim terjadinya ditampilkan pada Gambar 6. Berdasarkan peta tersebut (Gambar 6), diketahui kecepatan arus geostropik maksimum ialah sebesar 0,56 m/s, sedangkan kecepatan minimum sebesar 0,00047 m/s. Berdasarkan peta hasil *overlay* arus geostropik dan dinamika topografi absolut (Gambar 6) waktu potensial terjadinya arus siklonik ialah pada bulan Desember dan Januari, diduga pada bulan tersebut terjadi *upwelling* yang masif sehingga terdapat potensi daerah *fishing ground* pada batas wilayah 2^{o} – 5^{0} LU dan 119^{0} - 121^{0} BT. Bulan Februari, Juni, dan Juli memiliki potensi terjadinya arus antisiklonik yang mengakibatkan *downwelling* di Laut Sulawesi. Arus geostropik antisiklonik yang teridentifikasi memiliki ciri berdasarkan topografinya ialah memiliki topografi pusat yang lebih tinggi dibandingkan dengan topografi di sekitar pusatnya, sedangkan arus geostropik siklonik memiliki profil topografi pusat yang lebih rendah dibandingkan dengan topografi di sekitar pusatnya. Berdasarkan pernyataan yang dikemukakan oleh Yona *et al.* (2018), diketahui bahwa arus geostropik siklonik membentuk profil pusat divergensi sedangkan arus geostropik antisiklonik membentuk profil pusat konvergensi.

Kondisi rata-rata arus geostropik dan dinamika topografi absolut pada gambar 6 kemudian ditelisik lebih lanjut dinamikanya selama tahun 1994 – 2017 berdasarkan bulan pengamatan melalui nilai standar deviasi. Nilai standar deviasi tersebut dapat memberikan gambaran dinamika topografi absolut tiap bulannya. Analisis yang dilakukan hanya pada data dinamika topografi absolut karena yang mempengaruhi terbentuknya arus geostropik ialah dinamika topografi laut. Kecepatan arus geostropik dinilai tidak memiliki pengaruh terhadap dinamika arus geostropik karena hanya sebatas penanda terjadinya arus geostropik. Nilai standar deviasi dari rata-rata dinamika topografi absolut disajikan untuk menjelaskan dinamika topografi laut dalam bentuk peta pada Gambar 7.



Gambar 7 peta nilai standar deviasi dari rata-rata dinamika topografi absolut (Keterangan: lingkaran hitam menandakan daerah dengan nilai variasi ADT besar)

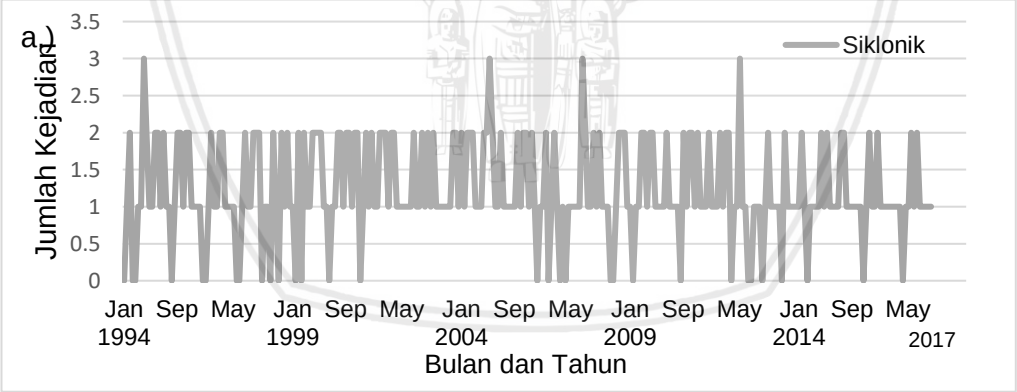
Peta nilai standar deviasi dari rata-rata dinamika topografi absolut menunjukkan perbedaan nilai deviasi secara spasial tiap bulannya. Nilai standar deviasi pada bulan Desember menunjukkan adanya variasi atau dinamika pada daerah kajian penelitian dengan nilai standar deviasi mencapai ±0,05 dari nilai rata-rata bulan tersebut. Bulan Januari menunjukkan penurunan nilai standar deviasi sedangkan pada bulan Februari terjadi penaikkan nilai standar deviasi dengan daerah ditandai dengan lingkaran merah sebagai daerah dengan variasi tertinggi. Bulan pada saat terjadinya musim timur (Juni – Agustus) nilai standar deviasi lebih stabil dengan perubahan nilai yang relatif stabil. Berdasarkan hal tersebut pada puncak terjadinya musim barat (Desember – Februari), terutama pada bulan Desember dan Februari, dinamika topografi lebih dinamis selama tahun 1994 – 2017 dibandingkan dengan pada saat terjadinya puncak musim timur (Juni – Agustus). Ditinjau secara spasial, lokasi dengan dinamika topografi laut yang bervariasi ialah pada letak 118^{o} BT – 124^{o} BT dan 2^{o} LU – 5^{o} LU. Berdasarkan Colling (2001) yang menyatakan bahwa gradien tekanan yang diakibatkan oleh massa air di laut menjadi faktor yang mempengaruhi terbentuknya arus geostropik, maka pada daerah dengan karakteristik topografi yang dinamis diprediksikan memiliki potensi terjadinya variasi antara arus geostropik siklonik dan antisiklonik.

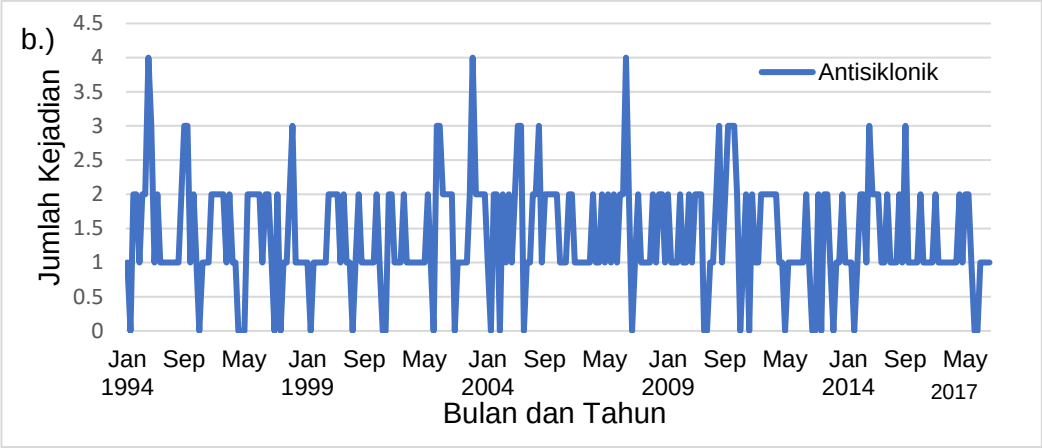
Berdasarkan analisis pola arus geostropik yang terjadi di Laut Sulawesi dan karakteristik topografi perairan tersebut, arus geostropoik siklonik terasosiasi dengan fenomena *downwelling* karena arus tersebut menimbulkan pusat konvergensi. Berbeda dengan arus geostropik siklonik, arus geostropik antisiklonik yang terjadi di Laut Sulawesi terasosiasi dengan fenomena *upwelling* yang ditunjukkan dengan pusat divergensi pada arus tersebut. Hal tersebut mengacu pada pernyataan oleh Yona *et al.* (2017), oleh Colling (2001), serta penelitian Ramadyan dan Radjawane (2013) yang menyatakan bahwa zona divergensi erat kaitannya dengan fenomena *upwelling* dan zona konvergensi berkaitan dengan

downwelling. Berdasarkan analisis peta nilai standar deviasi rata-rata dinamika topografi absolut (Gambar 7) maka pada letak 118^{o} BT – 124^{o} BT dan 2^{o} LU – 5^{o} LU diprediksi merupakan letak dengan kejadian arus geostropik yang bervariasi. Secara temporal bulan Desember dan Februari merupakan bulan dengan indikasi variasi arus geostropik yang lebih dinamis.

4.1.2 Dinamika Arus Geostropik

Hasil pengamatan data arus geostropik selama tahun 1994 sampai dengan tahun 2017 didapatkan hasil berupa grafik jumlah kejadian arus siklonik dan anti siklonik pada Gambar 6. Grafik kejadian arus geostropik siklonik dan antisiklonik dianalisis untuk mendapatkan gambaran secara kuantitatif tren kejadian arus geostropik siklonik dan antisiklonik tiap bulannya. Pendekatan secara kuantitatif tersebut menjadi acuan untuk memprediksi kejadian arus geostropik siklonik maupun antisiklonik tiap bulannya.





Gambar 8 Grafik kejadian arus geostropik siklonik (a) dan antisiklonik (b)

Jumlah kejadian arus antisiklonik maksimum yang teridentifikasi dalam satu bulan selama tahun 1994 sampai 2017 ialah sebanyak 4 kejadian. Bulan dengan jumlah kejadian arus antisiklonik maksimum yang teridentifikasi ialah pada bulan Agustus tahun 1994, Agustus 2003, dan November 2007. Berdasarkan hal tersebut, diketahui bahwa pada bulan Agustus tahun 1994 dan 2003 serta bulan November 2007 merupakan bulan dengan kejadian arus geostropik antisiklonik yang paling banyak. Berdasarkan musim *monsoon* bulan Agustus merupakan waktu puncak terjadinya musim timur, sedangkan bulan November merupakan waktu peralihan atau permulaan musim barat. Berdasarkan grafik kejadian arus gepstropik (Gambar 8), kejadian arus geostropik siklonik maksimum yang pernah terjadi pada satu bulan selama tahun 1994 – 2017 ialah pada bulan Desember tahun 1994, November tahun 2004, Februari tahun 2007, dan April tahun 2012. Secara keseluruhan, rata-rata kejadian arus geostropik siklonik dan antisiklonik tiap bulannya selama tahun 1994 – 2017 nilainya berturut-turut ialah sebanyak 1,2 ± 0,6 dan 1,3 ± 0,7.

Berdasarkan prediksi dari variasi dinamika topografi pada hasil analisis peta standar deviasi rata-rata dinamika topografi absolut (Gambar 7) bulan Desember dan Februari merupakan bulan dengan tingkat variasi kejadian arus geostropik siklonik maupun antisiklonik yang lebih tinggi dibandingkan bulan lain. Namun,

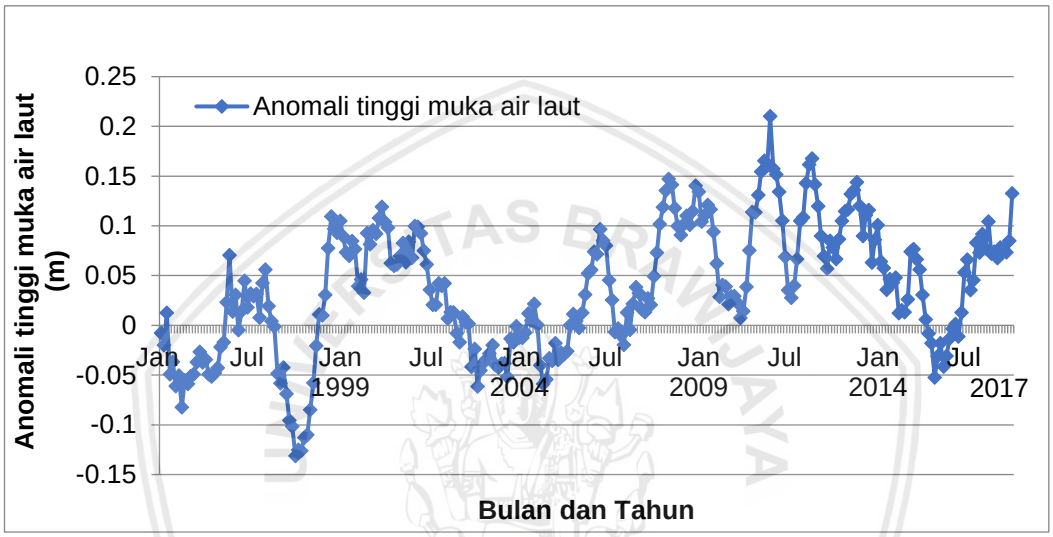
berdasarkan hasil analisis grafik kejadian arus geostropik (Gambar 8), bulan dengan tingkat variasi kejadian arus geostropik yang paling tinggi ialah pada bulan November. Hal tersebut dikarenakan jumlah total kejadian arus geostropik siklonik dan antisiklonik yang teridentifikasi pada bulan November merupakan jumlah kejadian terbanyak yakni dengan total 83 kejadian. Perbedaan antara prediksi dengan hasil identifikasi tersebut diduga diakibatkan oleh perbedaan ketinggian yang diakibatkan oleh topografi muka air laut pada bulan Desember tidak mampu mencapai equilibrium dengan gaya coriolis. Hal tersebut berkaitan dengan pernyataan oleh Colling (2001) yang menyatakan bahwa nilai tekanan gradient horizontal pada permukaan air laut dipengaruhi oleh massa jenis air, gaya gravitasi, dan sudut yang dibentuk akibat perbedaan ketinggian massa air. Jika dianggap nilai gaya gravitasi dan massa jenis air sama karena pengamatan pada satu daerah kajian penelitian, maka faktor yang mempengaruh tekanan gradien horizontal ialah sudut yang dibentuk oleh ketinggian massa air.

4.2 Analisis Pola Arus Geostropik pada Dua Musim

Hasil analisis perbandingan pola arus geostropik pada penelitian ini disajikan dengan dua data berupa nilai anomali tinggi muka air laut dari tahun 1994 – 2017 dan hasil uji statistik nilai anomali tinggi muka air laut, selain itu data anomali tinggi muka air laut erat kaitannya dengan dominansi kejadian arus geostropik siklonik maupun antisiklonik. Data anomali tinggi muka air laut disajikan untuk melihat bagaimana dinamika anomali tinggi muka air laut secara komprehensif dari tahun 1994 – 2017. Hasil uji statistik anomali tinggi muka air laut disajikan untuk mengetahui perbandingan dominansi arus geostropik siklonik maupun antisiklonik berdasarkan siklus musim *monsoon* (musim barat dan musim timur).

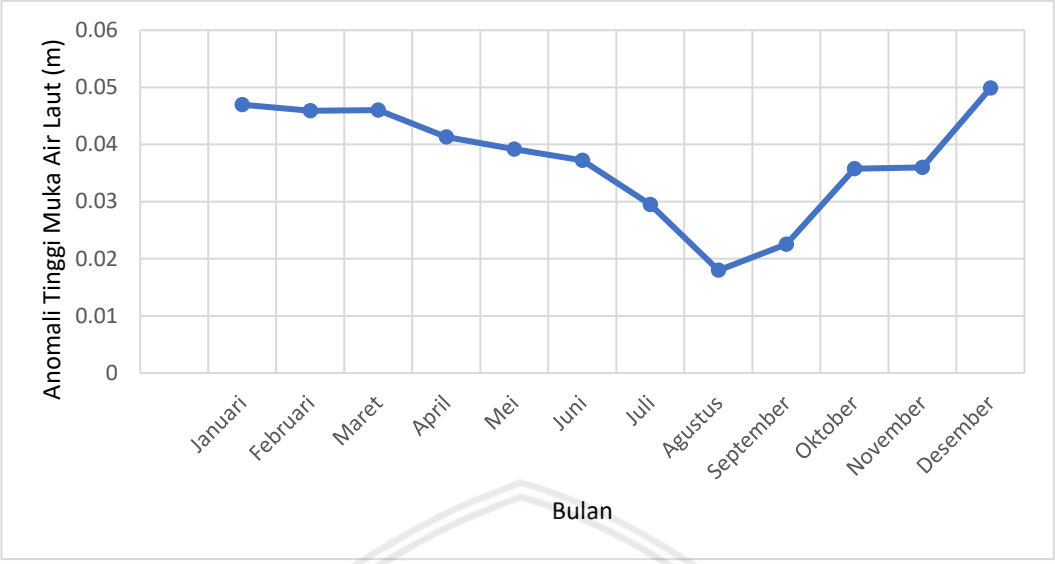
4.2.1 Anomali Tinggi Muka Air Laut (*Sea Level Anomalies*/SLA)

Data anomali tinggi muka air laut (*Sea Level Anomalies*/*SLA*) dari tahun 1994 – 2017 disajikan ke dalam grafik untuk dianalisis dinamikanya selama periode pengamatan tersebut. Grafik anomali tinggi muka air laut selama tahun 1994 – 2017 dianalisis secara komprehensif untuk melihat fluktuasinya tiap bulan. Grafik anomali tinggi muka air laut disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9 grafik anomali tinggi muka air laut selama tahun 1994 - 2017

Berdasarkan grafik anomali tinggi muka air laut selama tahun 1994 – 2017 (Gambar 9), nilai anomali tinggi muka air laut minimum yang terjadi selama pengamatan ialah sebesar -0,168 m sedangkan nilai maksimum yang tercatat ialah sebesar 0,172 m. Nilai anomali tinggi muka air laut rata-rata selama tahun 1994 – 2017 ialah sebesar 0,037 m. Berdasarkan grafik tersebut, tidak diketahui secara pasti bagaimana dinamika tinggi muka air laut berdasarkan musim *monsoon.* . Menurut Delman *et al.* (2018), anomali tinggi muka air laut merupakan nilai yang dapat menunjukkan variabilitas dominasi antara *eddies* siklonik dan antisiklonik. Berdasarkan hal tersebut, data anomali tinggi muka air laut kemudian dibuat rata-ratanya tiap bulan selama tahun 1994 – 2017 untuk mengetahui dinamika dominansi antara arus geostropik siklonik maupun antisiklonik pada musim *monsoon*.

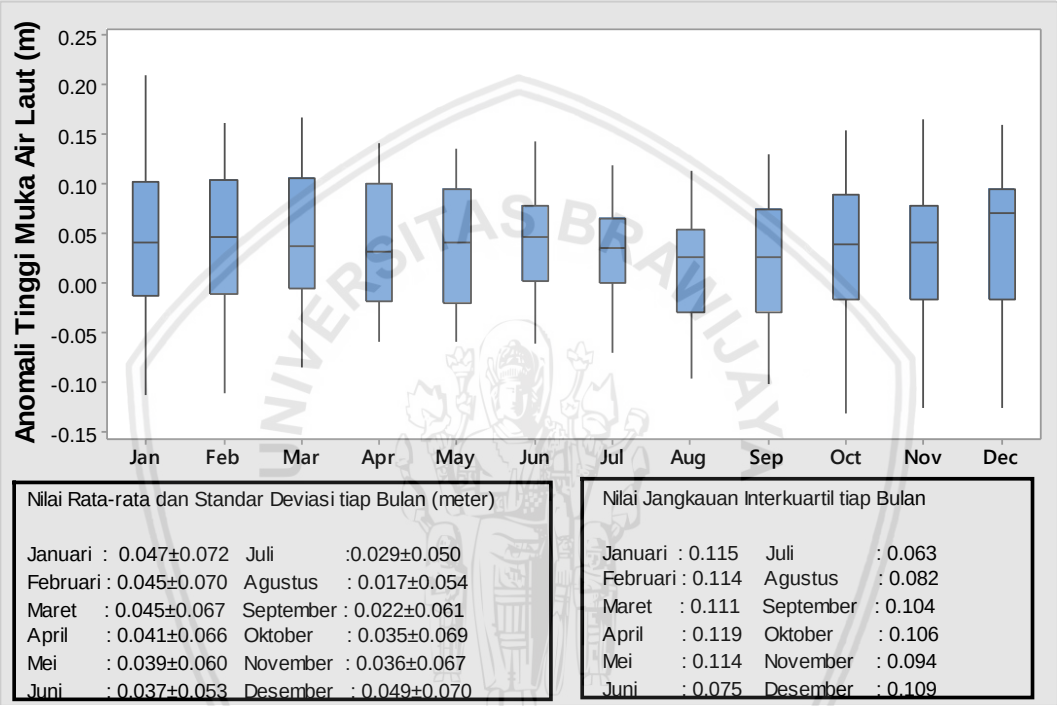


Gambar 10 grafik rata-rata bulanan dari anomali tinggi muka air laut selama tahun 1994 - 2017

Grafik rata-rata anomali tinggi muka air laut bulanan (Gambar 10) merupakan grafik yang menunjukkan rata-rata nilai anomali tinggi muka air laut tiap bulan selama tahun 1994 – 2017. Berdasarkan grafik tersebut, diketahui bahwa anomali tinggi muka air laut pada bulan Desember merupakan nilai rata-rata paling besar dengan nilai 0,0498 sedangkan nilai rata-rata terkecil pada bulan Agustus dengan nilai rata-rata sebesar 0,0179. Berdasarkan nilai rata-rata anomali tinggi muka air laut selama tahun 1994 – 2017, pada bulan terjadinya puncak musim timur nilai rata-rata anomali tinggi muka air laut mengalami penurunan. Memasuki bulan terjadinya puncak musim barat (Desember – Februari) nilai rata-rata anomali tinggi muka air laut mengalami penaikkan. Berdasarkan hal tersebut, diketahui bahwa terdapat pengaruh musim *monsoon* terhadap dinamika anomali tinggi muka air laut rata-rata tiap bulannya di Laut Sulawesi.

Nilai anomali tinggi muka air laut rata-rata tiap bulannya menunjukkan bahwa arus geostropik siklonik lebih dominan terjadi di Laut Sulawesi. Hal tersebut berdasarkan pernyataan Umaroh *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa nilai positif anomali tinggi muka air laut menunjukkan dominasi kejadian arus geostropik siklonik. Namun, hanya berdasarkan nilai rata-rata tersebut tidak dapat dipastikan

dinamika anomali tinggi muka air laut di Laut Sulawesi. Karena nilai rata-rata tersebut sifatnya belum tentu dapat mewakili dinamika perairan secara keseluruhan. Oleh sebab tersebut, dilakukan perhitungan nilai standar deviasi dari rata-rata anomali tinggi muka air laut untuk dapat memastikan dan membuktikan bahwa nilai rata-rata tersebut dapat mengkarakteristikkan dinamika dominasi arus geostropik siklonik atau antisiklonik secara keseluruhan.



Gambar 11 Grafik *boxplot* data anomali tinggi muka air laut

Berdasarkan grafik *boxplot* data anomali tinggi muka air laut Gambar 11), dapat diketahui sebaran data dan perbandingan persebarannya tiap bulan. Perbandingan persebaran data mengindikasikan bulan dengan persebaran nilai anomali tinggi muka air laut yang paling luas. Perbandingan tersebut dilakukan dengan membandingkan nilai jangkauan interkuartil (IRQ) tiap bulan. Menurut Whaley (2005), nilai jangkauan interkuartil (IRQ) mendeskripsikan persebaran suatu rangkaian data. Berdasarkan grafik *boxplot* data anomali tinggi muka air laut (Gambar 11), bulan dengan nilai IRQ paling besar ialah bulan April sebesar 0,119 sedangkan bulan dengan nilai IRQ paling kecil ialah bulan Juli sebesar 0,63. Hal

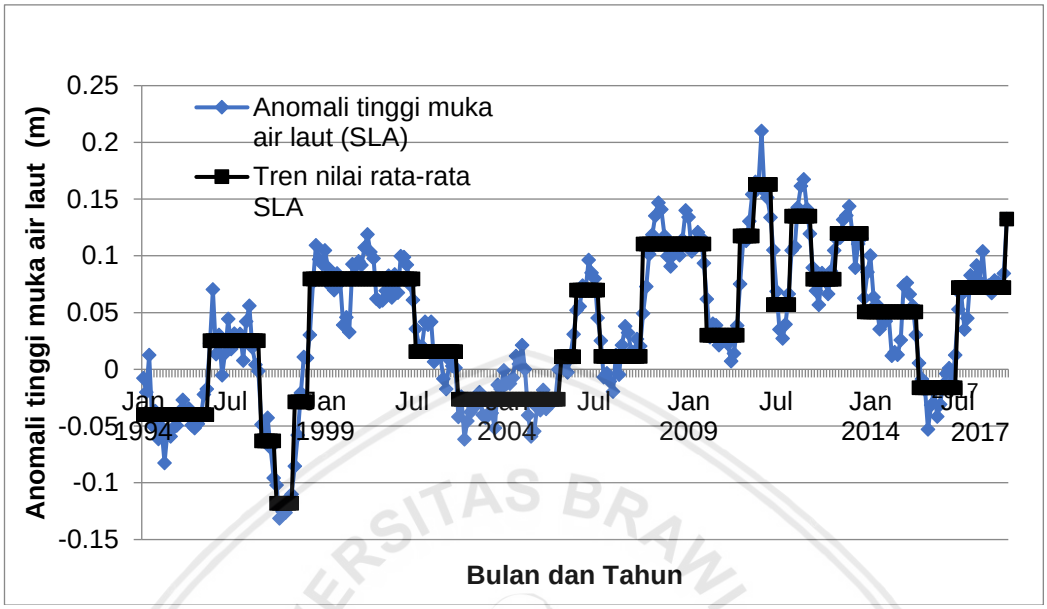
tersebut menandakan bahwa bulan April merupakan bulan dengan persebaran nilai anomali tinggi muka air laut yang paling luas sedangkan bulan juli merupakan bulan yang sebaran nilai anomali tinggi muka air laut yang paling kecil.

Berdasarkan nilai standar deviasi dari rata-rata anomali tinggi muka air laut nilainya lebih besar dari rata-rata anomali tinggi muka air laut. Menurut Al-Saleh dan Yousif (2016), nilai standar deviasi yang didapatkan dari turunan nilai rata-rata suatu data yang memiliki perbandingan lebih besar dari nilai rata-rata tersebut mengindikasikan data keseluruhan yang heterogen karena simpangan data yang bernilai besar. Nilai standar deviasi berdasarkan nilai rata-rata tiap bulannya relatif lebih besar daripada nilai rata-rata mengindikasikan bahwa anomali tinggi muka air laut tiap bulannya selama tahun 1994 – 2017 dinamis dan nilai rata-rata tersebut tidak dapat mewakili dinamika musiman yang terjadi di Laut Sulawesi selama 1994 – 2017. Hal tersebut mengindikasikan karakteristik dari dinamika anomali tinggi muka air laut rata-rata tiap bulannya tidak dapat mendefinisikan dinamika secara keseluruhan karena variasi tiap bulannya sangat tinggi. Uji statistik dengan menggunakan metode *student t-test shift* kemudian dilakukan guna memastikan hubungan antara dinamika arus geostropik dengan musim *monsoon*.

4.2.2 Analisis Tren *Sea Level Anomalies* (SLA)

Analisis statistik yang digunakan untuk mengetahui pengaruh sisklus *monsoon* terhadap kejadian arus geostropik berdasarkan anomali tinggi muka air laut ialah analisis statistik *student t-test shift*. Uji statistik *student t-test shift* dapat menjelaskan siklus yang terjadi berdasarkan nilai yang diuji. Nilai rata-rata dari anomali tinggi muka air laut menjadi acuan untuk deteksi tren anomali tinggi muka air laut. Uji statistik yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan tingkat

signifikansi 95% dengan tipe uji *two tailed Student t-test,* nilai *cut-off length* sebesar 6, dan nilai Huber senilai 1.



Gambar 12 hasil analisis *student t-test* shift data anomali tinggi muka air laut (Januari 1994 sampai dengan Desember 2017)

Berdasarkan analisis dari hasil uji statistik nilai anomali tinggi muka air laut selama tahun 1994 sampai dengan tahun 2017 (Gambar 12) diketahui bahwa terdapat 22 tren. Jangka waktu tiap tren dapat berlangsung selama 5 sampai dengan 35 bulan. Nilai rata-rata terbesar suatu tren ialah sebesar 0,1588 dan nilai rata-rata terkecil suatu tren ialah sebesar –0,1179. Nilai negatif dari tren rata-rata anomali tinggi muka air laut merepresentasikan kondisi perairan yang didominasi oleh kejadian geostropik antisiklonik, sedangkan nilai positif merepresentasikan arus geostropik siklonik. Hal tersebut mengacu pada penelitian oleh Piontkovski and Al-Jufaili (2013) yang menjukkan hubungan berbanding terbalik antara nilai anomali tinggi muka air laut dengan kejadian *eddies* siklonik dan antisiklonik. Tingkat kepercayaan yang dihitung pada tiap *tren* memiliki rentang nilai 0,0001 – 0,002. Nilai dari RSI (*Regime Shift Index*) dari seluruh tren memiliki rentang nilai -2,34 sampai dengan 2,24.

Berdasarkan analisis hasil uji statistik pada Gambar 12, musim *monsoonal* memiliki pengaruh yang kecil terhadap dinamika anomali tinggi muka air laut. Hal tersebut dikarenakan jangka waktu tren pada hasil analisis uji statistik *student t-test* tersebut tidak menunjukkan waktu yang bertepatan dengan lamanya musim *monsoon*. Musim *monsoon* berlangsung selama enam bulan, musim barat dimulai dari bulan September dan menuju puncak pada bulan Desember sedangkan musim timur dimulai dari bulan Maret dan menuju puncak pada bulan Agustus. *Tren* yang teridentifikasi berdasarkan analisis uji statistik *student t-test* dengan jangka waktu yang merepresentasikan lama waktu musim *monsoon* hanya terdapat tujuh tren dari 22 tren yang terdeteksi. Berdasarkan hal tersebut, dinamika arus geostropik siklonik maupun antisiklonik sangat jarang terjadi akibat siklus *monsoon* dengan kata lain siklus *monsoon* memiliki pengaruh yang kecil terhadap dinamika arus geostropik siklonik maupun antisiklonik. Hal tersebut berbeda dengan karakteristik dinamika yang ditunjukkan di Perairan Arafuru. Menurut Umaroh *et al.* (2017), dinamika arus geostropik di Perairan Arafuru sangat dipengaruhi oleh siklus *monsoon* dimana pada musim timur arus geostropik antisiklonik lebih mendominasi dibandingkan pada musim barat yang didominasi oleh kejadian arus geostropik siklonik. Perbedaan tersebut menunjukkan indikasi bahwa siklus *monsoon* memiliki pengaruh yang berbeda bedasarkan letak geografis suatu perairan.

4.3 Analisis Potensi *Upwelling* dan *Downwelling* Berdasarkan Musim

Diketahui bahwa potensi terjadinya *upwelling* dan *downwelling* ditentukan berdasarkan pola arus geostropik. Arus geostropik siklonik mengakibatkan *downwelling* pada daerah terjadinya arus tersebut, sedangkan arus antisiklonik mengakibatkan *upwelling* pada daerah terjadinya arus tersebut. Hal tersebut berdasarkan penelitian oleh Umaroh *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa arus

geostropik siklonik menyebabkan *downwelling* dan sebaliknya pada arus geostropik antisiklonik yang menyebabkan *upwelling* pada daerah terjadinya arus tersebut. Berdasarkan hasil analisis grafik kejadian arus geostropik (Gambar 8), rata-rata kejadian arus geostropik siklonik di Laut Sulawesi ialah sebanyak 1,2 ± 0,6 kejadian dan rata-rata kejadian arus geostropik antisiklonik tiap bulannya sebanyak 1,3 ± 0,7 kejadian. Berdsarkan hasil analisis data rata-rata anomali tinggi muka air laut, diketahui bahwa tiap bulannya memiliki variasi *downwelling* maupun *upwelling*.

Bulan dengan nilai rata-rata anomali tinggi muka air laut terendah yakni pada bulan terjadinya puncak musim timur diprediksikan menjadi bulan dengan potensi terjadi *upwelling* paling besar. Berdasarkan nilai rata-rata anomali tinggi muka air laut, waktu terjadinya puncak musim barat berpotensi terjadi *downwelling*. Akan tetapi berdasarkan nilai deviasi pada data anomali tinggi muka air laut menunjukkan bahwa nilai rata-rata anomali tinggi muka air laut tiap bulan tidak dapat mendefinisikan dinamika *upwelling* dan *downwelling* secara pasti. Hal tersebut dikarenakan nilai deviasi yang lebih besar dibandingkan nilai rata-rata anomali tinggi muka air laut yang menngindikasikan bahwa nilai anomali tinggi muka air laut tiap bulannya sangat bervariasi (heterogen) sehingga sulit untuk memprediksi waktu yang potensial untuk terjadinya *upwelling* dan *downwelling* tiap bulannya bahkan berdasarkan waktu terjadinya musim barat maupun musim timur. Hal tersebut juga ditunjukkan berdasarkan hasil uji statistik data anomali tinggi muka air laut.

Tabel 3 Hasil uji statistik *student t-test* data anomali tinggi muka air laut

Tahun	Bulan	SLA	RSI	Rata-rata	Lama tren (bulan)
1994	Januari	-0.01	0.00	-0.04	22
1995	November	0.02	1.10	0.03	17
1997	April	-0.05	-2.24	-0.06	5*
1997	September	-0.10	-0.76	-0.12	6*

Tahun	Bulan	SLA	RSI	Rata-rata	Lama tren (bulan)
1998	Maret	-0.09	1.74	-0.03	5*
1998	Agustus	0.03	2.02	0.08	35
2001	Juli	0.04	-0.66	0.02	14
2002	September	-0.04	-0.97	-0.03	34
2005	Juli	0.01	0.44	0.01	5*
2005	Desember	0.05	0.89	0.07	8
2006	Agustus	0.03	-1.40	0.01	14
2007	Oktober	0.05	1.72	0.11	21
2009	Juli	0.06	-1.64	0.03	11
2010	Juni	0.08	2.04	0.12	5*
2010	November	0.17	0.01	0.16	6*
2011	Mei	0.11	-2.29	0.06	6*
2011	November	0.10	1.70	0.14	7
2012	Juni	0.09	-1.11	0.08	8
2013	Februari	0.11	0.64	0.12	9
2013	November	0.06	-0.72	0.05	18
2015	Mei	0.01	-1.41	-0.02	13
2016	Juni	0.05	1.54	0.07	16
2017	Oktober	0.13	1.18	0.13	N/A

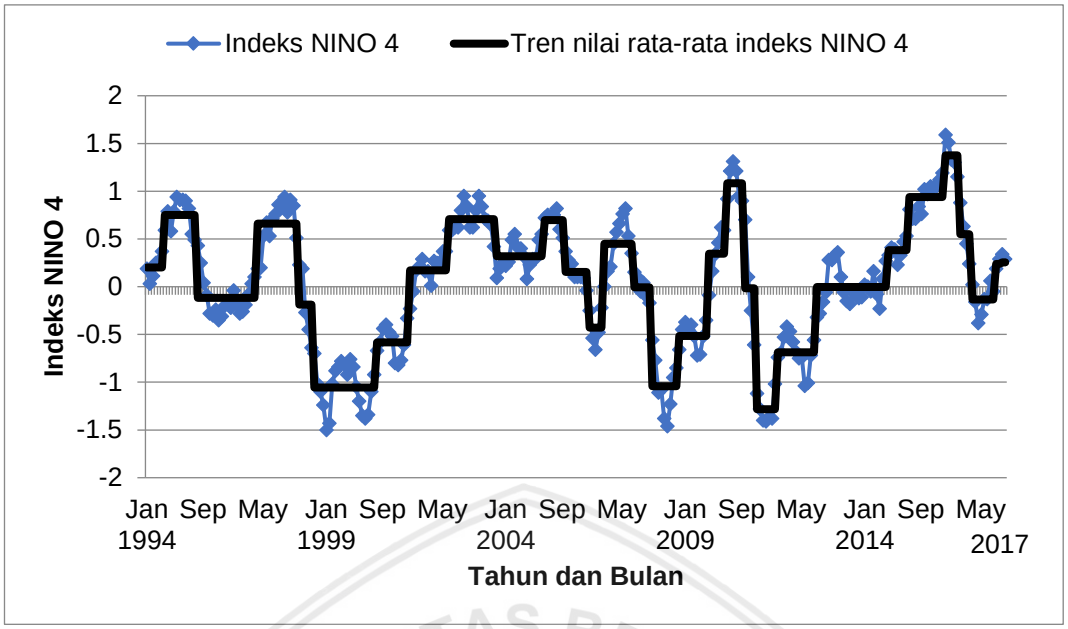
Hasil uji statistik data anomali tinggi muka air laut (Tabel 3) mengindikasikan tidak adanya dinamika *upwelling* dan *downwelling* yang diakibatkan oleh musiman maupun berdasarkan bulan terjadinya. Hal tersebut disebabkan oleh pola tren yang memiliki jangka waktu tidak sama dengan waktu terjadinya siklus musim *monsoon,* tren dengan jangka waktu sesuai dengan lama periode *monsoon* ditandai dengan "*". Pernyataan menurut Noya (2009) puncak musim barat terjadi pada bulan Desember sampai dengan Februari sedangkan musim timur terjadi pada bulan Juni sampai dengan Agustus. Jika menganggap musim transisi (September – November dan Maret – Mei) sebagai waktu dimulainya musim barat dan musim timur maka lama waktu tren yang sesuai dengan lama waktu musim *monsoon* hanya terdapat tujuh tren (Tabel 3). Hasil uji statistik *student t-test* mengindikasikan bahwa pola dinamika arus geostropik di Laut Sulawesi sedikit sekali yang mengikuti pola musim *monsoon.* Hal tersebut mengindikasikan bahwa

terdapat faktor lain yang lebih mempengaruhi dinamika arus geostropik di Laut Sulawesi.

Jika ditelisik lebih lanjut, terdapat kemungkinan faktor lain yang dapat mempengaruhi dinamika arus geostropik. Tabel hasil uji statistik data anomali tinggi muka air laut menunjukkan bahwa lama waktu tren baik yang terasosiasi dengan arus geostropik siklonik maupun antisiklonik memiliki lama waktu melebihi dari siklus *monsoon*. Hal tersebut menimbulkan dugaan bahwa terdapat pengaruh lain yang lebih mempengaruhi pola arus geostropik di Laut Sulawesi. Penelitian oleh Fadlan *et al.* (2017) yang menunjukkan adanya pengaruh variabilitas *interannual* seperti ENSO dan IOD terhadap dinamika massa air laut di Perairan Indonesia. Diketahui bahwa fenomena ENSO dapat mempengaruhi distribusi massa air laut di Pasifik Timur hingga si Pasifik Barat khususnya bagi Laut Sulawesi bagian Utara. Hal tersebut dikarenakan Laut Sulawesi bagian Utara menjadi pintu masuk massa air laut dari Samudera Pasifik.

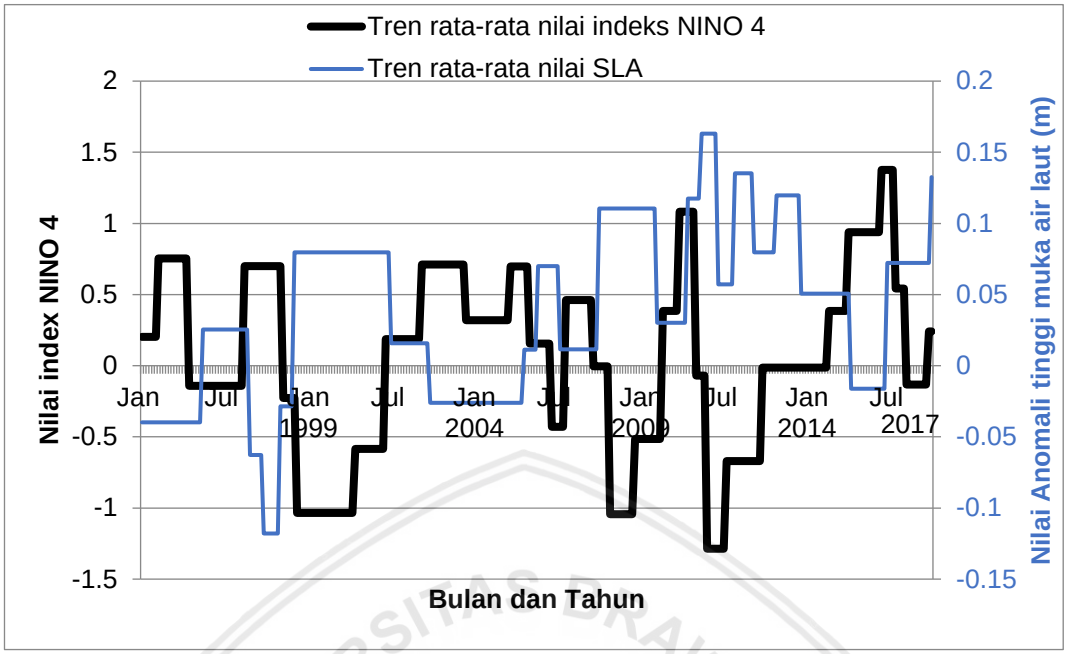
4.4 Analisis Tren ENSO (*El-Nino and Southern Oscilation)*

Fenomena ENSO memiliki potensi sebagai salah satu faktor yang dapat mempengaruhi dinamika arus geostropik di Laut Sulawesi. Faktor ENSO kemudian menjadi pertimbangan berdasarkan pernyataan Fadlan *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa ENSO memiliki pengaruh terhadap dinamika massa air laut di Perairan Indonesia. Hal tersebut menjadi alasan yang kuat dilakukannya uji lanjutan terhadap dinamika pola arus geostropik di Laut Sulawesi. Analisis statistik *student t-test* dilakukan terlebih dahulu untuk mengidentifikasi adanya kecocokkan antara pola dinamika ENSO dengan arus geostropik. Kecocokan antara pola dinamika ENSO menjadi acuan untuk melakukan uji statistik hubungan antara ENSO dengan anomali tinggi muka air laut di Laut Sulawesi.



Gambar 13 grafik hasil uji *student t-test* data indeks Nino 4 (bulan Januari 1994 sampai dengan Desember 2017)

Berdasarkan grafik hasil analisis *uji statistik student t-test* nilai index Nino 4 (Gambar 13), diketahui bahwa terdapat 28 *tren* yang teridentifikasi berdasarkan hasil analisis *uji statistik student t-test*. Nilai rata-rata tiap *tren* memiliki rentang nilai -1,28 sampai dengan 1,378. Nilai negatif dari rata-rata *tren* merepresentasikan kejadian La-Nina, sedangkan nilai positif merepresentasikan kejadian El-Nino. Hal tersebut berdasarkan pernyataan oleh Irwandi *et al.* (2017) bahwa nilai indeks NINO positif berkaitan dengan fenomena El-Nino, sebaliknya terjadi jika indeks bernilai negatif maka terjadi La-Nina. Nilai tingkat kepercayaan hasil analisis uji statistik *student t-test* berkisar antara 0,0001 sampai dengan 0,025. Nilai RSI (*Regime Shift Index*) dari hasil uji statistik *student t-test* dari indeks Nino 4 berkisar antara -2,63 sampai dengan 1,79. Jangka waktu tiap *tren*dapat berlangsung selama 4 sampai dengan 24 bulan. Hasil uji statistik *student t-test* indeks nino 4 kemudian dibandingkan dengan hasil uji statistik *student t-test* data anomali tinggi muka air laut.



Gambar 14 perbandingan hasil uji statistik *student t-test* antara indeks Nino dengan anomali tinggi muka air laut

Berdasarkan grafik perbandingan hasil analisis uji *student t-test*, nilai anomali tinggi muka air laut dengan nilai index Nino (Gambar 14), diketahui bahwa terdapat pengaruh antara variabilitas anomali tinggi muka air laut dengan kejadian ENSO. Pola *tren* yang ditunjukkan pada Gambar 14 mengindikasikan hubungan yang berbanding terbalik antara kejadian ENSO dengan nilai anomali tinggi muka air laut. Ketika rata-rata indeks Nino bernilai negatif, nilai rata-rata anomali tinggi muka air laut memiliki besaran nilai positif. Sebaliknya, ketika nilai rata-rata indeks bernilai positif, nilai rata-rata anomali tinggi muka air laut memiliki besaran nilai negatif. Berdasarkan hal tersebut, fase El-Nino menyebabkan dominansi kejadian arus geostropik antisiklonik. Sebaliknya, ketika terjadi fase La-Nina, laut Sulawesi didominasi kejadian arus geostropik siklonik. Analisis uji statistik korelasi Pearson kemudian dilakukan untuk mengetahui hubungan antara ENSO dengan dinamika pola arus geostropik.

Berdasarkan hasil uji statistik korelasi Pearson, didapatkan nilai koefisien korelasi Pearson sebesar -0,635 dengan nilai signifikansi < 0,005. Hal tersebut

menunjukkan bahwa ENSO dan anomali tinggi muka air laut memiliki hubungan yang kuat. Nilai negatif dari hasil uji statistik korelasi Pearson antara anomali tinggi muka air laut dengan index Nino 4, diketahui bahwa kejadian ENSO memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan anomali tinggi muka air laut. Hal tersebut mengindikasikan bahwa arus geostropik antisiklonik yang menyebabkan *upwelling* terasosiasi dengan El-Nino, sedangkan arus geostropik siklonik yang menyebabkan *downwelling* terasosiasi dengan La-Nina. Hasil yang didapatkan berdasarkan analisis hubungan arus geostropik dengan ENSO sesuai dengan penelitian oleh Nababan and Hadianti (2017) yang menyatakan bahwa kejadian El-Nino mengakibatkan penurunan paras muka air laut di Perairan Indonesia dan terjadi penaikkan paras muka air laut pada fase La-Nina. Hal tersebut menandakan bahwa dinamika arus geostropik dan *upwelling* serta *downwelling* berdasarkan tipe arus geostropik dipengaruhi lebih besar oleh siklus ENSO (*El-Nino and Southern Oscilation*) dibandingkan dengan siklus musim *monsoon*.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan ialah sebagai berikut.

1. Pola arus gestropik di Laut Sulawesi dibedakan menjadi dua jenis pola, yakni arus geostropik dengan arah arus searah dengan arah jarum jam (antisiklonik) dan arus geostropik dengan arah arus berlawanan dengan arah jarum jam (siklonik). Arus geostropik geostropik antisiklonik di Laut Sulawesi memiliki ciri topografi pusat arus yang memiliki kontur topografi yang lebih tinggi dibandingkan topografi di sekitar pusatnya (pusat konvergensi). Arus geostropik siklonik di Laut Sulawesi memiliki ciri topografi pusat arus yang memiliki kontur topografi lebih rendah dibandingkan topografi di sekitar pusatnya (pusat divergensi).
2. Berdasarkan siklus musim *monsoon* (musim barat dan musim timur) tidak ditunjukkan tren dominasi pola arus geostropik siklonik maupun antisiklonik karena lama waktu tren anomali tinggi muka air laut (*sea level anomalies*) tidak sesuai dengan waktu siklus musim *monsoon*.
3. Berdasarkan siklus musim *monsoon* (musim barat dan musim timur) tidak dapat diprediksi musim yang potensial terjadi *upwelling* maupun *downwelling* karena variasi pola arus geostropik tidak sesuai dengan siklus musim *monsoon*.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya terkait dengan arus geostropik di Laut Sulawesi, sebaiknya ditambahkan faktor lain untuk memprediksi potensi kesuburan perairan yang disebabkan oleh arus geostropik seperti data konsentrasi nutrien maupun konsentrasi klorofil untuk meneliti bagaimana potensi kesuburan perairan yang disebabkan oleh arus geostropik. Selain itu, diharapkan penelitian selanjutnya dapat mengasosiasikan arus geostropik dengan kondisi perikanan seperti mengasosiasikan arus geostropik dengan hasil penangkapan perikanan berdasarkan. Saran lain yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya ialah diharapkan penelitian selanjutnya yang terkait arus geostropik dapat ditambahkan kajian skema pengaruh ENSO terhadap dinamika pola arus geostropik.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Saleh, M.F., Yousif, A.E., 2016. *Properties of the Standard Deviation that are Rarely Mentioned in Classrooms*. Austrian Journal of Statistics 38, 193. https://doi.org/10.17713/ajs.v38i3.272

Ambriz-Arreola, I., Gómez-Gutiérrez, J., Franco-Gordo, C., Lavaniegos, B., Godínez-Domínguez, E., 2012. *Influence of coastal upwelling–downwelling variability on tropical euphausiid abundance and community structure in the inshore Mexican central Pacific*. Marine Ecology Progress Series 451, 119–136. https://doi.org/10.3354/meps09607

Anggraeni, R.I., Widagdo, S., 2017. Hubungan *Upwelling* dengan Jumlah Tangkapan Ikan Cakalang Pada Musim Timur Di Perairan Tamperan, Pacitan 7.

Chang, C.-H., Kuo, C.-Y., Shum, C.K., Yi, Y., Rateb, A., 2016. *Global Surface and Subsurface Geostrophic Currents from Multi-Mission Satellite Altimetry and Hydrographic Data*, 1996 - 2011. Journal of Marine Science and Technology 24, 1181–1193. https://doi.org/10.6119/JMST-016-1026-7

Chelton, D.B., Ries, J.C., Haines, B.J., Fu, L.-L., Callahan, P.S., 2001. *Chapter 1 Satellite Altimetry, in: International Geophysics*. Elsevier, pp. 1–ii. https://doi.org/10.1016/S0074-6142(01)80146-7

Colling, A. (Ed.), 2001. *Ocean circulation*, 2nd ed. ed. Butterworth Heinemann, in association with the Open University, Boston.

Daruwedho, H., Sasmito, B., 2016. Jurnal Geodesi Undip 5, 14.

Dibarboure, G., Dorandeu, J., Traon, P.L., Picot, N., 2006. SSALTO/DUACS: 15 *Years Of Precise And Consistent Multi-Mission Altimetry Data 7.*

Dimas, R., Setiyono, H., Helmi, M., 2015. Arus Geostropik Permukaan Musiman Berdasarkan Data Satelit Altimetri Tahun 2012-2013 Di Samudera Hindia Bagian Timur. Journal of Oceanography 4, 756–764.

Fadlan, A., Sugianto, D.N., Kunarso, Zainuri, M., 2017. *Influence of ENSO and IOD to Variability of Sea Surface Height in the North and South of Java Island*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 55, 012021. https://doi.org/10.1088/1755-1315/55/1/012021

Feng, H., Vandemark, D., Levin, J., Wilkin, J., 2018. *Examining the Accuracy of GlobCurrent Upper Ocean Velocity Data Products on the Northwestern Atlantic Shelf*. Remote Sensing 10, 1205. https://doi.org/10.3390/rs10081205

Irwandi, H., Nasution, M.I., Kurniawan, E., 2017. Pengaruh El Niño Terhadap Variabilitas Curah Hujan Di Sumatera Utara 1, 9.

Klemas, V., 2012. *Remote Sensing of Coastal and Ocean Currents: An Overview*. Journal of Coastal Research 28, 576. https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-11-00197.1

Mann, K.H., Lazier, J.R.N., 2006. *Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans, 3rd ed. ed*. Blackwell Pub, Malden, MA.

Marpaung, S., Prayono, T., 2014. Analisis Arus Geostropik Permukaan Laut Berdasarkan Data Satelit Altimetri. Seminar Nasional Penginderaan Jauh 561–567.

Matulessy, M., 2014. Dinamika Tinggi Paras Laut dan Pola Arus Geostrofik dari Data Satelit Altimetri di Perairan Selatan Jawa 58.

Nababan, B., Hadianti, S., 2017. Dinamika Anomali Paras Laut Perairan Indonesia 15.

Noya, Y., 2009. Estimasi Energi Gelombang pada Musim Timur dan Musim Barat di Perairan Pantai Desa Tawiri, Teluk Ambon Bagian Luar. Jurnal Triton 5, 43–49.

Park, Y.-H., 2004. *Determination Of The Surface Geostrophic Velocity Field From Satellite Altimetry*. Journal of Geophysical Research 109. https://doi.org/10.1029/2003JC002115

Penven, P., Halo, I., Pous, S., Marié, L., 2014. *Cyclogeostrophic Balance In The Mozambique Channel*. Journal of Geophysical Research: Oceans 119, 1054–1067. https://doi.org/10.1002/2013JC009528

Piontkovski, S.A., Al-Jufaili, S., 2013. *Coastal upwellings and Mesoscale Eddies of the Western Arabian Sea: Some Biological Implications 25*.

Price, J.F., 2006. *Lagrangian and Eulerian Representations of Fluid Flow: Kinematics and the Equations of Motion 91*.

Ramadyan, F., Radjawane, I., 2013. Arus Geostrofik Permukaan Musiman di Perairan Arafura-Timor. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis 5, 12.

Salama Kamel, M., 2010. *Geostrophic Current Patterns Off The Egyptian Mediterranean Coast*. OCEANOLOGIA 52, 299–310. https://doi.org/10.5697/oc.52-2.299

Sediadi, A., 2010. Efek *Upwelling* terhadap Kelimpahan dan Distribusi Fitoplankton di Perairan Laut Banda dan Sekitarnya. MAKARA of Science Series 8. https://doi.org/10.7454/mss.v8i2.409

Sprintall, J., Révelard, A., 2014. *The Indonesian Throughflow Response To Indo-Pacific Climate Variability: Indonesian Throughflow Climate Response*. Journal of Geophysical Research: Oceans 119, 1161–1175. https://doi.org/10.1002/2013JC009533

Stewart, R.H., 2000. *Introduction To Physical Oceanography.* Department of Oceanography Texas A & M University 351.

Sudre, J., Maes, C., Garçon, V., 2013. *On the global estimates of geostrophic and Ekman surface currents: Global estimates of geostrophic and Ekman surface currents*. Limnology and Oceanography: Fluids and Environments 3, 1–20. https://doi.org/10.1215/21573689-2071927

Taburet, G., Sanchez-Roman, A., Ballarotta, M., Pujol, M.-I., Legeais, J.-F., Fournier, F., Faugere, Y., Dibarboure, G., 2019. *DUACS DT-2018: 25 years of reprocessed sea level altimeter products*. Ocean Science Discussions 1–30. https://doi.org/10.5194/os-2018-150

Umaroh, Anggoro, S., Muslim, 2017. *The Dynamics of Sea Surface Height and Geostrophic Current in the Arafura Sea.* IOP Conference Series: Earth and

Environmental Science 55, 012046. https://doi.org/10.1088/1755-1315/55/1/012046

Whaley, D.L., 2005. *The Interquartile Range: Theory and Estimation*. 55.

Wheeler, M.C., McBride, J.L., 2005. *Australian-Indonesian monsoon, in: Intraseasonal Variability in the Atmosphere-Ocean Climate System*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 125–173. https://doi.org/10.1007/3-540-27250-X_5

Wuriatmo, H., Koesuma, S., Yunianto, M., 2016. Analisa *Sea Level Rise* Dari Data Satelit Altimetri Topex/Poseidon, Jason-1 Dan Jason-2 Di Perairan Laut Pulau Jawa Periode 2000 – 2010. INDONESIAN JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 2, 65. https://doi.org/10.13057/ijap.v2i02.1296

Yona, Defri, Aida S., Feni I., Abu Bakar S., Nurin H., Ledhyane Ika H., Syarifah Hikmah J. S., M. Arif Zainul F., dan M. Arif R., 2017. Fundamental Oseanografi. Malang : UBPress.

Yuwono, Y., Su'udi, F.A., 2018. Analisis Daerah Penangkapan Ikan pada Masa Peralihan I dan II Menggunakan Data Altimetri (Studi Kasus: Selat bali). Geoid 13, 6. https://doi.org/10.12962/j24423998.v13i1.3626

Zhang, Z., Lu, Y., Hsu, H., 2007. *Detecting Ocean Currents from Satellite Altimetry, Satellite Gravity and Ocean Data, in: Tregoning, P., Rizos, C. (Eds.)*, Dynamic Planet. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 17–22. https://doi.org/10.1007/978-3-540-49350-1_3

repository.ub.ac.id

LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh data rata-rata Dinamika Topografi Absolut

Longitude [*degrees_east*]	*Latitude* [*degrees_north*]	*Latitude* [*degrees_north*]	*Longitude* [*degrees_east*]	ADT [m]
115.125	-2.875	-2.875	115.125	0
115.375	-2.875	-2.875	115.375	0
115.625	-2.875	-2.875	115.625	0
115.875	-2.875	-2.875	115.875	0
116.125	-2.875	-2.875	116.125	1.103
116.375	-2.875	-2.875	116.375	1.09867
116.625	-2.875	-2.875	116.625	1.09324
116.875	-2.875	-2.875	116.875	1.08733
117.125	-2.875	-2.875	117.125	1.08148
117.375	-2.875	-2.875	117.375	1.0754
117.625	-2.875	-2.875	117.625	1.06944
117.875	-2.875	-2.875	117.875	1.06404
118.125	-2.875	-2.875	118.125	1.05937
118.375	-2.875	-2.875	118.375	1.05385
118.625	-2.875	-2.875	118.625	1.04858
118.875	-2.875	-2.875	118.875	1.04516
119.125	-2.875	-2.875	119.125	0
119.375	-2.875	-2.875	119.375	0
119.625	-2.875	-2.875	119.625	0
119.875	-2.875	-2.875	119.875	0
120.125	-2.875	-2.875	120.125	0
120.375	-2.875	-2.875	120.375	0
120.625	-2.875	-2.875	120.625	0
120.875	-2.875	-2.875	120.875	0
121.125	-2.875	-2.875	121.125	0
121.375	-2.875	-2.875	121.375	0
121.625	-2.875	-2.875	121.625	0
121.875	-2.875	-2.875	121.875	0
122.125	-2.875	-2.875	122.125	0.97935
122.375	-2.875	-2.875	122.375	0.98464
122.625	-2.875	-2.875	122.625	0.99028
122.875	-2.875	-2.875	122.875	0.99177

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 2 contoh data rata-rata kecepatan dan arah arus geostropik

Longitude [*degrees_east*]	*Latitude* [*degrees_north*]	*Latitude* [*degrees_north*]	*Longitude* [*degrees_east*]	ugosa [m/s]	vgosa [m/s]
115.125	-2.875	-2.875	115.125	0	0
115.375	-2.875	-2.875	115.375	0	0
115.625	-2.875	-2.875	115.625	0	0
115.875	-2.875	-2.875	115.875	0	0
116.125	-2.875	-2.875	116.125	0	0
116.375	-2.875	-2.875	116.375	-0.21	0.13
116.625	-2.875	-2.875	116.625	-0.19	0.15
116.875	-2.875	-2.875	116.875	-0.16	0.14
117.125	-2.875	-2.875	117.125	-0.14	0.14
117.375	-2.875	-2.875	117.375	-0.13	0.16
117.625	-2.875	-2.875	117.625	-0.13	0.17
117.875	-2.875	-2.875	117.875	-0.13	0.18
118.125	-2.875	-2.875	118.125	-0.13	0.18
118.375	-2.875	-2.875	118.375	-0.13	0.18
118.625	-2.875	-2.875	118.625	-0.13	0.16
118.875	-2.875	-2.875	118.875	0	0
119.125	-2.875	-2.875	119.125	0	0
119.375	-2.875	-2.875	119.375	0	0
119.625	-2.875	-2.875	119.625	0	0
119.875	-2.875	-2.875	119.875	0	0
120.125	-2.875	-2.875	120.125	0	0
120.375	-2.875	-2.875	120.375	0	0
120.625	-2.875	-2.875	120.625	-0.08	0.08
120.875	-2.875	-2.875	120.875	-0.08	0.06
121.125	-2.875	-2.875	121.125	0	0
121.375	-2.875	-2.875	121.375	0	0
121.625	-2.875	-2.875	121.625	0	0
121.875	-2.875	-2.875	121.875	0	0
122.125	-2.875	-2.875	122.125	0	0
122.375	-2.875	-2.875	122.375	-0.10	0.06
122.625	-2.875	-2.875	122.625	-0.09	0.04
122.875	-2.875	-2.875	122.875	-0.07	0.00
123.125	-2.875	-2.875	123.125	-0.04	-0.01
123.375	-2.875	-2.875	123.375	-0.01	-0.01
123.625	-2.875	-2.875	123.625	0.01	-0.02
123.875	-2.875	-2.875	123.875	0.03	-0.03

Lampiran 3 contoh nilai standar deviasi rata-rata Dinamika Topografi Absolut

Longitude	*Latitude*	Standar Deviasi
116.125	-2.875	0.0508
116.375	-2.875	0.05138
116.625	-2.875	0.05166
116.875	-2.875	0.05114
117.125	-2.875	0.04972
117.375	-2.875	0.04772
117.625	-2.875	0.04518
117.875	-2.875	0.04205
118.125	-2.875	0.03873
118.375	-2.875	0.03595
118.625	-2.875	0.03395
118.875	-2.875	0.0326
122.125	-2.875	0.03703
122.375	-2.875	0.03712
122.625	-2.875	0.03738
122.875	-2.875	0.03759
123.125	-2.875	0.0379
123.375	-2.875	0.03889
123.625	-2.875	0.04075
123.875	-2.875	0.04298
124.125	-2.875	0.04506
124.375	-2.875	0.04665
124.625	-2.875	0.0474
124.875	-2.875	0.04724
125.125	-2.875	0.0463
125.375	-2.875	0.0452
125.625	-2.875	0.04424
125.875	-2.875	0.04272
126.125	-2.875	0.04079
126.375	-2.875	0.0392
126.625	-2.875	0.03851
126.875	-2.875	0.039
127.125	-2.875	0.04045
127.375	-2.875	0.04248
127.625	-2.875	0.04452

Lampiran 4 Contoh data identifikasi kejadian arus geostropik antisiklonik

Bulan	Tahun											
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Jan	1	1	0	1	1	1	2	1	1	2	1	0
Feb	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
Mar	2	1	1	0	2	1	1	0	1	1	2	1
Apr	2	1	1	0	0	1	0	2	1	1	2	2
May	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	0	2
Jun	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2	3
Jul	2	2	2	2	2	1	1	1	0	2	1	1
Aug	4	3	2	2	3	2	1	1	3	4	2	2
Sep	3	3	2	2	1	2	1	2	3	2	1	2
Oct	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2
Nov	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	3	2
Dec	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	3	2

Bulan	Tahun											
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Jan	1	1	0	2	0	0	2	0	1	1	2	1
Feb	1	1	1	1	0	1	1	0	1	2	1	2
Mar	1	2	2	1	1	2	1	2	0	1	1	1
Apr	2	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2
May	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	2
Jun	1	1	1	1	3	1	1	2	2	2	2	1
Jul	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Aug	1	1	2	2	2	2	1	0	3	3	1	0

repository.ub.ac.id

Bulan	Tahun											
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Sep	1	2	1	1	3	2	1	1	2	1	1	1
Oct	1	2	2	2	3	2	1	1	2	1	1	1
Nov	1	4	2	2	3	2	2	2	2	1	1	1
Dec	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1

Lampiran 5 Contoh data identifikasi kejadian arus geostropik siklonik

Bulan	Tahun											
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Jan	0	2	1	0	2	1	1	0	2	2	2	1
Feb	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
Mar	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2
Apr	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	2	1
May	0	1	0	1	0	2	2	2	1	1	2	1
Jun	1	0	0	1	2	1	2	1	1	1	1	1
Jul	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Aug	2	2	2	1	0	2	2	2	2	1	1	1
Sep	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2
Oct	1	1	1	0	1	2	1	2	1	2	2	1
Nov	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	3	2
Dec	3	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2

Bulan	Tahun											
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Jan	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1
Feb	2	3	2	0	2	1	1	2	2	1	2	0
Mar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Apr	0	1	1	1	1	1	3	1	0	2	1	1
May	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2
Jun	1	1	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Jul	2	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	2
Aug	0	0	1	2	2	1	0	2	1	1	1	1

repository.ub.ac.id

Bulan	Tahun											
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Sep	1	2	2	2	1	2	1	1	2	1	1	1
Oct	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Nov	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1
Dec	0	2	1	1	1	2	0	1	1	0	1	1

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 6 Contoh data nilai anomali tinggi muka air laut

Tahun	Bulan	SLA
1994	Jan	-0.00771
	Feb	-0.02002
	Mar	0.012636
	Apr	-0.04945
	May	-0.03681
	Jun	-0.06128
	Jul	-0.05045
	Aug	-0.08246
	Sep	-0.05526
	Oct	-0.05889
	Nov	-0.05134
	Dec	-0.04945
1995	Jan	-0.03695
	Feb	-0.02681
	Mar	-0.03734
	Apr	-0.03456
	May	-0.04914
	Jun	-0.05167
	Jul	-0.04795
	Aug	-0.04291
	Sep	-0.022
	Oct	-0.01713
	Nov	0.023245
	Dec	0.070548

Lampiran 7 Contoh data anomali dari nilai rata-rata anomali tinggi muka air laut

Bulan	Rata-rata	STDEV
Januari	0.047	±0.072
Februari	0.046	±0.070
Maret	0.046	±0.067
April	0.041	±0.066
Mei	0.039	±0.060
Juni	0.037	±0.053
Juli	0.029	±0.050
Agustus	0.018	±0.054
September	0.023	±0.061
Oktober	0.036	±0.069
November	0.036	±0.067
Desember	0.050	±0.070

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 8 Contoh data hasil uji statistik *student t-test* nilai anomali tinggi muka air laut

Tahun	Bulan	SLA	RSI	Mean	Weighed	Length
1994	Jan	-0.00771	0	-0.03986	-0.04079	22
	Feb	-0.02002	0	-0.03986	-0.04079	22
	Mar	0.012636	0	-0.03986	-0.04079	22
	Apr	-0.04945	0	-0.03986	-0.04079	22
	May	-0.03681	0	-0.03986	-0.04079	22
	Jun	-0.06128	0	-0.03986	-0.04079	22
	Jul	-0.05045	0	-0.03986	-0.04079	22
	Aug	-0.08246	0	-0.03986	-0.04079	22
	Sep	-0.05526	0	-0.03986	-0.04079	22
	Oct	-0.05889	0	-0.03986	-0.04079	22
	Nov	-0.05134	0	-0.03986	-0.04079	22
	Dec	-0.04945	0	-0.03986	-0.04079	22
1995	Jan	-0.03695	0	-0.03986	-0.04079	22
	Feb	-0.02681	0	-0.03986	-0.04079	22
	Mar	-0.03734	0	-0.03986	-0.04079	22
	Apr	-0.03456	0	-0.03986	-0.04079	22
	May	-0.04914	0	-0.03986	-0.04079	22
	Jun	-0.05167	0	-0.03986	-0.04079	22
	Jul	-0.04795	0	-0.03986	-0.04079	22
	Aug	-0.04291	0	-0.03986	-0.04079	22
	Sep	-0.022	0	-0.03986	-0.04079	22
	Oct	-0.01713	0	-0.03986	-0.04079	22
	Nov	0.023245	1.10361	0.025327	0.023925	17
	Dec	0.070548	0	0.025327	0.023925	17

Lampiran 9 Contoh data hasil uji statistik *student t-test* nilai indeks NINO 4

Tahun	Bulan	NINO 4	RSI	Mean	Weighed	Length
1994	Jan	0.19	0	0.203333	0.203333	6
	Feb	0.03	0	0.203333	0.203333	6
	Mar	0.11	0	0.203333	0.203333	6
	Apr	0.25	0	0.203333	0.203333	6
	May	0.27	0	0.203333	0.203333	6
	Jun	0.37	0	0.203333	0.203333	6
	Jul	0.59	0.937343	0.751818	0.75392	11
	Aug	0.79	0	0.751818	0.75392	11
	Sep	0.58	0	0.751818	0.75392	11
	Oct	0.79	0	0.751818	0.75392	11
	Nov	0.94	0	0.751818	0.75392	11
	Dec	0.91	0	0.751818	0.75392	11
1995	Jan	0.91	0	0.751818	0.75392	11
	Feb	0.9	0	0.751818	0.75392	11
	Mar	0.82	0	0.751818	0.75392	11
	Apr	0.55	0	0.751818	0.75392	11
	May	0.49	0	0.751818	0.75392	11
	Jun	0.43	-1.31506	-0.1175	-0.14152	20
	Jul	0.25	0	-0.1175	-0.14152	20
	Aug	0.04	0	-0.1175	-0.14152	20
	Sep	-0.09	0	-0.1175	-0.14152	20
	Oct	-0.28	0	-0.1175	-0.14152	20
	Nov	-0.3	0	-0.1175	-0.14152	20
	Dec	-0.24	0	-0.1175	-0.14152	20