

**ANALISIS ARUS GEOSTROPIK BERDASARKAN KETINGGIAN
MUKA LAUT DAN KAITANNYA DENGAN KEJADIAN *UPWELLING*
DI PERAIRAN SAMUDRA HINDIA BAGIAN TIMUR**

(Skripsi)

Oleh

MUHAMMAD DICKY DARMAWAN

NPM 1954221004



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2024

ABSTRAK

ANALISIS ARUS GEOSTROPIK BERDASARKAN KETINGGIAN MUKA LAUT DAN KAITANNYA DENGAN KEJADIAN *UPWELLING* DI PERAIRAN SAMUDRA HINDIA BAGIAN TIMUR

Oleh

MUHAMMAD DICKY DARMAWAN

Fenomena oseanografi di Samudra Hindia terjadi akibat interaksi antara atmosfer dan laut. Interaksi ini menyebabkan perubahan kondisi laut, salah satunya perbedaan tinggi muka laut. Perbedaan tinggi muka laut pada dua lokasi di lautan akan menghasilkan gradien tekanan. Arus laut akan bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Namun, karena pengaruh gaya coriolis, arah arus akan dibelokkan. Arus yang dihasilkan dari keseimbangan antara gradien tekanan dan gaya Coriolis disebut arus geostropik. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis arus geostropik yang dihasilkan dari perbedaan tinggi muka laut, menganalisis angkutan Ekman, dan mengidentifikasi hubungannya dengan fenomena *upwelling*, yang diverifikasi menggunakan distribusi suhu permukaan laut dan klorofil-a. Metode penelitian ini menggunakan perhitungan arah dan besarnya arus geostropik berdasarkan perbedaan tinggi muka laut. Arah dan besarnya arus geostropik kemudian dipakai untuk menghitung angkutan Ekman dan mengidentifikasi kejadian *upwelling*. Kejadian *upwelling* diverifikasi menggunakan distribusi suhu permukaan laut dan klorofil-a. Data yang digunakan dalam metodologi penelitian meliputi tinggi muka laut, suhu permukaan laut, dan klorofil-a antara periode 2016-2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola arus geostropik tidak berbeda secara signifikan antar tahun. Variabilitas terjadi pada besarnya dan intensitas *eddies* secara musiman. Secara umum, di laut lepas, arus geostropik membentuk pola lingkaran yang disebut *eddies*. Pola arus pada *eddies* bergerak searah jarum jam (siklonik) di zona konvergen dan bergerak berlawanan jarum jam (anti-siklonik) di zona divergen. Di daerah pantai, arus geostropik cenderung bergerak ke arah barat di barat Sumatra dan timur di selatan Jawa. Angkutan Ekman cenderung bergerak 90° ke kanan arus geostropik. Oleh karena itu, angkutan Ekman bergerak menuju pantai di barat Sumatra dan menjauhi pantai di selatan Jawa. Kondisi ini menyebabkan *upwelling* hanya terjadi di selatan Jawa dan puncaknya pada musim timur, sehingga disebut *upwelling* musiman. Kejadian *upwelling* di laut lepas jarang terjadi karena angkutan Ekman di zona divergen tidak dapat membawa massa air akibat stratifikasi termoklin yang lebih dalam.

Kata kunci: Arus geostropik, angkutan Ekman, *upwelling*, Samudra Hindia

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF GEOSTROPIC CURRENTS BASED ON SEA LEVEL AND ITS RELATION TO UPWELLING EVENTS IN THE EASTERN INDIAN OCEAN

By

MUHAMMAD DICKY DARMAWAN

The phenomena oceanography of the Indian Ocean is affected by the interaction between the atmosphere and the ocean. This interaction causes changes in ocean conditions, one of which results in differences in sea level high. The different sea level high between two places in the ocean will cause a pressure gradient. The ocean current will move forward from high pressure to low pressure. Due to the influence of the coriolis force, the direction of the current will be deflected. The current resulting from the balance between the pressure gradient and coriolis force is called the geostrophic current. The aims of this research were to analyze the geostrophic current resulting from the different of sea level height, analyze the Ekman transport, and identify its relation to upwelling phenomena, which are verified using sea surface temperature and chlorophyll-a distribution. The quantitative method used in this research, by calculating the direction and magnitude of the geostrophic current based on differences in sea level high. The direction and magnitude of the geostrophic current the used to calculate the Ekman's transport and identify upwelling events. The upwelling events verified by the distribution of sea surface temperature and chlorophyll-a. The data used in the research methodology include sea level high, sea surface temperature (SST), and chlorophyll-a between the period of 2016-2020. The results of this research showed that the pattern of the geostrophic current did not differ significantly between years. The variabilities occurred in the magnitude and intensity of eddies. These variabilities occurred seasonally. In general, at the open ocean, the geostrophic current formed a circular pattern called eddies. These circular patterns moved clockwise (cyclonic) in the convergence zone and moved anticlockwise (anticyclonic) in the divergence zone. In the coastal area, the geostrophic current tend to moved towards to the west in western Sumatra and east in southern Java. The Ekman transport tend to move 90° to the right of the geostrophic current. Therefore, it will move towards the coast in western Sumatra and away from the coast in southern Java. This condition caused upwelling to only occurred in southern Java and its peak only occurred in the east monsoon, so it was called seasonal upwelling. The upwelling event in the open ocean rarely occurred because the Ekman transport in the divergence zone was unable to receiver water mass due to the deeper thermocline stratification.

Key words: Geostrophic current, transport Ekman, upwelling, Indian Ocean

**ANALISIS ARUS GEOSTROPIK BERDASARKAN KETINGGIAN
MUKA LAUT DAN KAITANNYA DENGAN KEJADIAN *UPWELLING*
DI PERAIRAN SAMUDRA HINDIA BAGIAN TIMUR**

Oleh

MUHAMMAD DICKY DARMAWAN

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Program Studi Ilmu Kelautan
Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul

ANALISIS ARUS GEOSTROPIK BERDASARKAN KETINGGIAN MUKA LAUT DAN KAITANNYA DENGAN KEJADIAN UPWELLING DI PERAIRAN SAMUDRA HINDIA BAGIAN TIMUR.

Nama Mahasiswa

Muhammad Dicky Darmawan

Nomor Pokok Mahasiswa

1954221004

Program Studi

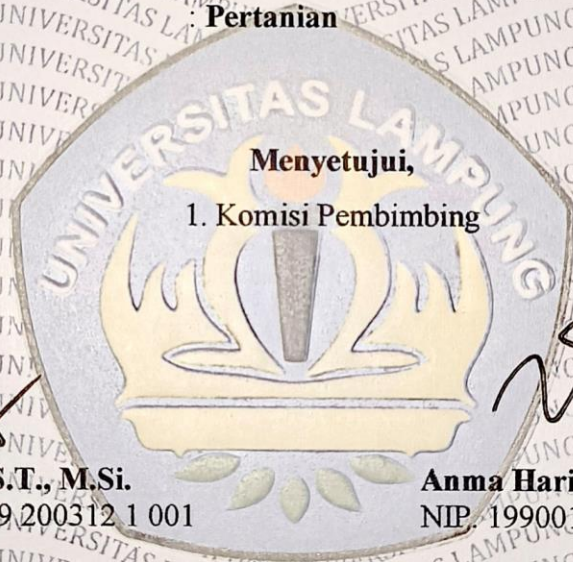
Ilmu Kelautan

Jurusan

Perikanan dan Kelautan

Fakultas

Pertanian



Menyetujui,

1. Komisi Pembimbing

Eko Efendi, S.T., M.Si.
NIP. 19780329 200312 1 001

Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.
NIP. 19900120 201903 1 011

2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan

Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.
NIP 19700815 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

Eko Efendi, S.T., M.Si.



Sekretaris

Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.



Anggota

: Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411181989021002

Tanggal lulus ujian skripsi : 15 Januari 2024

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Dicky Darmawan

NPM : 1954221004

Judul Skripsi : Analisis Arus Geostropik Berdasarkan Ketinggian Muka Laut dan Kaitannya dengan Kejadian *Upwelling* di Perairan Samudra Hindia Bagian Timur

Menyatakan bahwa skripsi yang telah saya tulis ini merupakan murni karya saya sendiri berdasarkan pengetahuan, pengalaman, dan data yang saya peroleh dari hasil penelitian yang saya lakukan. Selain itu, semua yang tertulis di dalam skripsi sudah sesuai dengan panduan penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Demikian pernyataan ini saya buat, apabila di kemudian hari terbukti terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, Mei 2024



Muhammad Dicky Darmawan

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bogor, pada tanggal 13 September 2001, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Ayah Dudung Khristian Lubimbo dan Ibu Lina Sullaeman. Penulis menempuh pendidikan formal di Sekolah Dasar Negeri Muara Sari 1 (2007-2013), Sekolah Menengah Pertama Negeri 17 Kota Bogor (2013), Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Ciawi (2014-2016), Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Ciawi (2016-2019). Tahun 2019 penulis menempuh pendidikan di perguruan tinggi sebagai mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri wilayah Barat (SMMPTN Barat).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum Pemetaan dan SIG Kelautan, asisten praktikum Oseanografi Perikanan, asisten praktikum SIG terapan, dan aktif pada organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) Universitas Lampung sebagai Ketua Bidang Komunikasi dan Informasi pada tahun 2022. Penulis pernah mengikuti magang di Taman Nasional Kepulauan Seribu (TNKS) pada bulan Januari-Februari 2020. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sukamantri, Kecamatan Tamansari, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat pada bulan Januari-Februari 2022. Penulis juga mengikuti kegiatan Praktik Umum (PU) di Pusat Riset Pengindraan Jauh Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRPJ-BRIN) pada bulan Mei-Agustus tahun 2022.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

Alhamdulillah atas segala berkat, rahmat, kemudahan serta izin yang Allah SWT berikan kepadaku dalam penyelesaian skripsi ini. Kupersembahkan karya ini kepada kedua orang tuaku dengan penuh rasa cinta.

Terima kasih untuk orang tuaku, Ayah Dudung Khristian Lubimbo dan Ibu Lina Sulaeman, yang selalu mendoakan, memberikan dukungan yang sangat berharga, serta kasih sayang yang tidak akan pernah berakhir, semua yang telah diberikan tidak mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas yang tertulis kata persembahan.

Teruntuk saudaraku, Muhammad Faisal Farid, yang telah memberikan dukungan untuk penulis dan saya bangga dengan keluarga ini.

Terima kasih untuk teman-teman, khususnya untuk kelas Ilmu Kelautan Angkatan 2019 yang sangat saya sayangi, umumnya untuk teman-teman semua yang tidak dapat saya sebutkan namanya satu per satu, yang selalu memberikan motivasi, dorongan, dan semangat juang untuk penulis.

Terakhir untuk kekasih yang memotivasi penulis untuk menyelesaikan penulisan skripsi.

MOTO

Tidak ada ujian yang tidak dapat diselesaikan. Karena Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuatu dengan kadar kesanggupannya

(QS. Al-Baqarah, 2: 286)

Kehidupan itu laksana lautan. Orang yang tiada berhati-hati dalam mengayuh perahu, memegang kemudi dan menjaga layar, maka karamlah ia digulung oleh ombak dan gelombang. Hilang di tengah samudera yang luas.

Tiada akan tercapai olehnya tanah tepi

(Buya Hamka)

Bagiku, laut itu seperti teman. Seorang anak yang sudah aku kenal sejak dulu. Mungkin akan terdengar sedikit tidak waras, tapi ketika sedang berenang, aku berbicara kepadanya. Aku tidak pernah merasa sendirian ketika berada di sana

(Gertrude Ederle)

Nahkoda yang tangguh itu tidak lahir di laut yang tenang tapi lahir di laut yang penuh dengan ombak dan badai

(Aditya Hadi)

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Arus Geostropik Berdasarkan Ketinggian Muka Laut dan Kaitannya dengan Kejadian *Upwelling* di Perairan Samudra Hindia Bagian Timur”. Shalawat beserta salam semoga senantiasa tercurah kepada suri tauladan dan nabi akhir zaman Rasulullah Muhammad SAW. beserta para keluarga, sahabat serta kita selaku umatnya di akhir zaman. Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat sebagai sarjana sains di Program Studi Ilmu Kelautan. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat dukungan, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi kemudahan untuk penulis.
2. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si., selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Eko Efendi, S.T., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Ketua dan Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, petunjuk, serta arahan kepada penulis.
5. Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Sekretaris yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, petunjuk, serta arahan kepada penulis.
6. Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si., selaku Dosen Pembahas yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, petunjuk serta arahan kepada penulis.

7. Keluarga besar yang telah mendoakan dan memberi semangat serta dukungan secara penuh.
8. Teman-teman Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung angkatan 2019 yang telah memberikan semangat serta dukungan dan doa untuk menyelesaikan skripsi.
9. Rekan-rekan presidium dan pengurus Himapik tahun 2022.
10. Fazria, yang selalu mendukung dalam pembuatan skripsi.

Penulis berharap dengan adanya skripsi ini, dapat memberi informasi terkait arus geostropik dan pengaruhnya terhadap angkutan Ekman serta kejadian *upwelling* di perairan Samudra Hindia bagian timur kepada mahasiswa dan masyarakat umum. Penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi.

Bandar Lampung, Mei 2024

Muhammad Dicky Darmawan

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	3
1.4 Kerangka Pemikiran.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Arus Geostropik	5
2.2 Hubungan Arus Geostropik dengan Mekanisme <i>Upwelling</i> dan <i>Downwelling</i>	7
2.3 Klorofil-a.....	8
2.4 Suhu Permukaan Laut (SPL)	8
III. METODE PENELITIAN	10
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	10
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	11
3.3 Tahapan Penelitian.....	12
3.3.1 Pengumpulan Data	12
3.3.2 Pengolahan Data	12
3.3.3 Penyajian Data	14
3.3.4 Analisis Data	14
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Pola Arus Geostropik Berdasarkan Tinggi Muka Laut.....	15
4.1.1 Pola Arus Geostropik pada Musim barat	15
4.1.2 Pola Arus Geostropik pada Musim Peralihan I.....	18

4.1.3 Pola Arus Geostropik pada Musim Timur	20
4.1.4 Pola Arus Geostropik pada Musim Peralihan II	22
4.2 Angkutan Ekman Berdasarkan Arus Goestropik	24
4.3 <i>Upwelling</i>	27
V. SIMPULAN DAN SARAN	34
5.1 Simpulan	34
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Alat penelitian	11
2. Bahan penelitian.....	11

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran.....	4
2. Skema kecepatan geostropik permukaan arah x	5
3. Skema arus geostropik pada zona konvergen dan divergen	6
4. Peta lokasi penelitian	10
5. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut dan (b) arus geostropik pada musim barat tahun 2017	16
6. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut dan (b) arus geostropik pada musim peralihan I tahun 2017	19
7. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut dan (b) arus geostropik pada musim timur tahun 2017	21
8. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut dan (b) arus geostropik pada musim peralihan II tahun 2017	23
9. Peta pola angkutan Ekman pada tahun 2017	25
10. Peta (a) indeks kejadian <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim barat tahun 2017	28
11. Peta (a) indeks kejadian <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim peralihan I tahun 2017	29
12. Peta (a) indeks kejadian <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim timur tahun 2017	30
13. Peta (a) indeks kejadian <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim peralihan II tahun 2017	31
14. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut, dan (b) arus geostropik pada bulan Januari tahun 2016-2020	41
15. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut, dan (b) arus geostropik pada bulan Februari tahun (2016-2020).....	42
16. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut, dan (b) arus geostropik pada bulan Maret tahun 2016-2020	43
17. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut, dan (b) arus geostropik pada bulan April tahun 2016-2020	44

18. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut, dan (b) arus geostropik pada bulan Mei tahun 2016-2020	45
19. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut, dan (b) arus geostropik pada bulan Juni tahun 2016-2020.....	46
20. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut, dan (b) arus geostropik pada bulan Juli tahun 2016-2020.....	47
21. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut, dan (b) arus geostropik pada bulan Agustus tahun 2016-2020	48
22. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut, dan (b) arus geostropik pada bulan September tahun 2016-2020	49
23. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut, dan (b) arus geostropik pada bulan Oktober tahun 2016-2020	50
24. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut, dan (b) arus geostropik pada bulan November tahun 2016-2020.....	51
25. Peta pola sebaran (a) tinggi muka laut, dan (b) arus geostropik pada bulan Desember tahun 2016-2020	52
26. Pola angkutan Ekman pada bulan Januari tahun 2016-2020.	53
27. Pola angkutan Ekman pada bulan Februari tahun 2016-2020	54
28. Pola angkutan Ekman pada bulan Maret tahun 2016-2020	55
29. Pola angkutan Ekman pada bulan April tahun 2016-2020.....	56
30. Pola angkutan Ekman pada bulan Mei tahun 2016-2020.....	57
31. Pola angkutan Ekman pada bulan Juni tahun 2016-2020.	58
32. Pola angkutan Ekman pada bulan Juli tahun 2016-2020	59
33. Pola angkutan Ekman pada bulan Agustus tahun 2016-2020.....	60
34. Pola angkutan Ekman pada bulan September tahun 2016-2020.....	61
35. Pola angkutan Ekman pada bulan Oktober tahun 2016-2020.....	62
36. Pola angkutan Ekman pada bulan November tahun 2016-2020	63
37. Pola angkutan Ekman pada bulan Desember tahun 2016-2020.....	64
38. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim barat tahun 2016	65
39. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim barat tahun 2017	66
40. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim barat tahun 2018	67
41. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim barat tahun 2019	68

42. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim barat tahun 2020	69
43. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim peralihan I tahun 2016	70
44. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim peralihan I tahun 2017	71
45. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim peralihan I tahun 2018	72
46. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim peralihan I tahun 2019	73
47. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim peralihan I tahun 2020	74
48. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim timur tahun 2016.....	75
49. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim timur tahun 2017.....	76
50. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim timur tahun 2018.....	77
51. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim timur tahun 2019.....	78
52. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim timur tahun 2020.....	79
53. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim peralihan II tahun 2016.....	80
54. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim peralihan II tahun 2017.....	81
55. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim peralihan II tahun 2018.....	82
56. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim peralihan II tahun 2019.....	83
57. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a pada musim peralihan II tahun 2020.....	84

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skrip penulisan arus geostropik	39
2. Pola tinggi muka laut dan arus geostropik tahun 2016-2020.....	41
3. Pola angkutan Ekman tahun 2016-2020	53
4. Pola sebaran (a) <i>upwelling</i> , (b) suhu permukaan laut, dan (c) klorofil-a.....	65

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Samudra Hindia menjadi salah satu zona perikanan yang penting di dunia (Abidin, 2001). Perairan Samudera Hindia bagian timur merupakan daerah potensial penangkapan tuna. Kawasan perairan ini merupakan bagian dari wilayah pengelolaan Indian Ocean Tuna Commission (IOTC) dan Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna (CCSBT) (Kepmen-KP, 2015). Besarnya potensi sumber daya tuna diperkirakan produksi tuna mata besar (*Thunnus obesus*), madidihang (*Thunnus albacares*), cakalang (*Katsuwonus pelamis*), albacora (*Thunnus alalunga*) dan tuna sirip biru selatan (*Thunnus macveyi*) masing-masing sebesar 132.000 ton/tahun, 344.000 ton/tahun, 478.000 ton/tahun, 37.082 ton/tahun, dan 14.647 ton/tahun (Demi *et al.*, 2020).

Produksi tangkapan ikan serta daerah tangkapan ikan berhubungan dengan konsentrasi klorofil-a dan suhu permukaan laut (SPL) di daerah tersebut. Klorofil-a dapat menunjukkan kelimpahan fitoplankton yang merupakan produktivitas primer laut (Nufus *et al.*, 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Schleiermacher *et al.* (2016) menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil-a berpengaruh pada hasil tangkapan ikan di Samudra Hindia. Sementara itu, suhu permukaan laut memengaruhi distribusi ikan karena memengaruhi kondisi lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan dan migrasinya (Cahya *et al.*, 2016).

Peningkatan klorofil-a cenderung menunjukkan adanya daerah *upwelling*, yaitu arus yang bergerak secara vertikal akan membawa nutrisi yang berasal dari laut dalam menuju permukaan laut. Sementara itu, suhu permukaan laut memengaruhi kestabilan termal dan pola pergerakan air laut, termasuk pembentukan arus geostropik yang juga dapat memengaruhi distribusi klorofil-a di dalam laut (Haryanto *et al.*, 2021).

Arus geostropik terbentuk sebagai hasil dari keseimbangan antara gradien tekanan horizontal dan gaya coriolis dalam lautan. Proses ini terjadi karena adanya perbedaan tinggi muka laut yang menghasilkan gradien tekanan horizontal. Ketika terdapat perbedaan tinggi muka laut antara dua titik yang disebabkan perbedaan suhu atau distribusi massa air laut, sehingga tekanan yang lebih tinggi akan bergerak ke arah tekanan yang lebih rendah. Namun, karena pengaruh rotasi bumi, gaya coriolis akan muncul, mengakibatkan arah gerakan cenderung ditekan ke kiri di belahan bumi selatan (Stewart, 2008; Alawiyah *et al.*, 2018).

Beberapa penelitian tentang arus geostropik telah dilakukan oleh Dimas (2015) dan Umaroh (2017) yang memetakan arus geostropik menggunakan data tinggi permukaan laut dari tahun 1996 sampai dengan tahun 2015. Dan penelitian tersebut diketahui bahwa arus geostropik dapat digunakan untuk mendeteksi dan menganalisis munculnya beberapa fenomena di laut lepas, antara lain arus *eddies*, *upwelling* dan *downwelling*. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa dalam teknik pemetaan arus geostropik digunakan data tinggi permukaan laut untuk mengidentifikasi pola arus geostropik tersebut. Oleh sebab itu, kajian tentang arus geostropik yang disebabkan oleh pengaruh tinggi muka laut sangat diperlukan untuk mendeteksi dan menganalisis munculnya fenomena *upwelling* di perairan Samudra Hindia bagian timur.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah,

1. Menganalisis pola arus geostropik berdasarkan tinggi muka laut di perairan Samudra Hindia bagian timur.
2. Menganalisis angkutan Ekman berdasarkan arus geostropik di perairan Samudra Hindia bagian timur.
3. Menganalisis pola distribusi *upwelling* di perairan Samudra Hindia bagian timur.

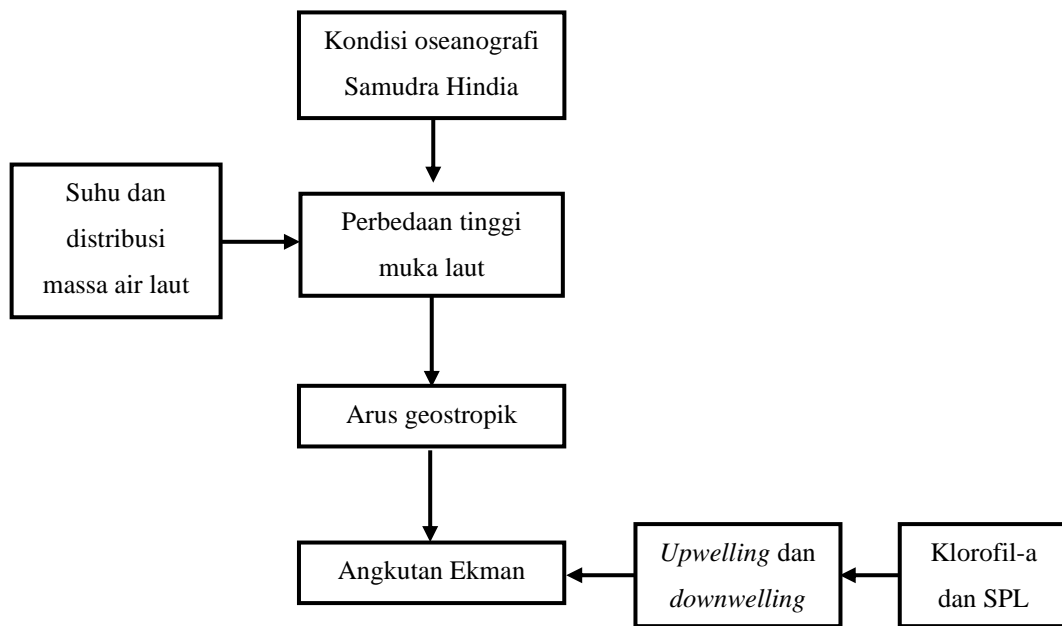
1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu memberikan informasi tentang pola arus geostropik dan angkutan Ekman berdasarkan tinggi muka laut di perairan Samudra Hindia bagian timur. Melalui analisis pola arus geostropik dan angkutan Ekman, penelitian ini dapat membantu dalam mengidentifikasi kejadian *upwelling* di wilayah Samudra Hindia bagian timur yang divalidasi berdasarkan sebaran suhu permukaan laut dan klorofil-a. Hasil penelitian ini memiliki kontribusi dalam mendukung pengelolaan perikanan yang berkelanjutan dan dapat digunakan sebagai indikator yang kuat untuk menentukan daerah potensial penangkapan ikan di perairan Samudra Hindia bagian timur.

1.4 Kerangka Pemikiran

Kondisi oseanografi perairan Samudra Hindia dipengaruhi oleh perbedaan tinggi muka laut yang disebabkan suhu dan distribusi massa air di kawasan tersebut. Perbedaan tinggi muka laut antara dua titik menghasilkan gradien tekanan horizontal, sehingga tekanan yang lebih tinggi akan bergerak ke arah tekanan yang lebih rendah. Namun, karena pengaruh rotasi bumi, gaya coriolis akan muncul, mengakibatkan arah gerakan cenderung ditekan ke kiri di belahan bumi selatan. Keseimbangan gradien tekanan horizontal dan gaya coriolis membentuk arus geostropik di laut. Gesekan antara lapisan permukaan dengan lapisan bawahnya menyebabkan deviasi arah dari arus geostropik yang membentuk angkutan Ekman.

Angkutan Ekman menyebabkan perpindahan massa air di permukaan laut. Ketika massa air di permukaan dipindahkan, maka lapisan di bawahnya juga terpengaruh. Akibatnya, perpindahan massa air di permukaan tersebut mendorong lapisan air di bawahnya ke arah berlawanan, yang menyebabkan terjadinya fenomena *upwelling* dan *downwelling*. *Upwelling* dan *downwelling* dapat ditandai oleh kondisi suhu permukaan laut dan klorofil-a. Saat terjadi *upwelling*, suhu permukaan laut lebih rendah dari wilayah sekitarnya dan memiliki konsentrasi klorofil-a yang tinggi. Sementara itu saat terjadi *downwelling*, suhu permukaan laut lebih tinggi dari wilayah sekitarnya dan memiliki konsentrasi yang rendah. Secara ringkas kerangka pemikiran penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

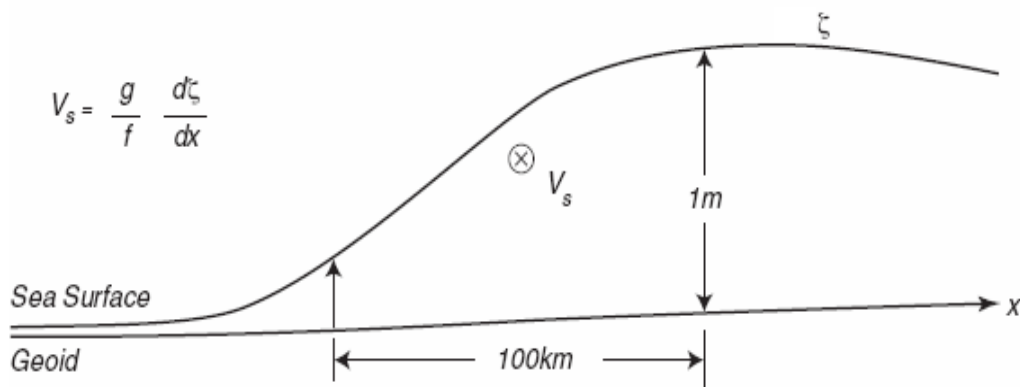


Gambar 1. Kerangka pemikiran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Arus Geostropik

Arus geostropik adalah arus yang terjadi akibat terbentuknya kesetimbangan antara gaya gradien mendatar dan gaya coriolis yang ditimbulkan akibat rotasi bumi (Penven *et al.*, 2014). Gaya coriolis adalah gaya yang timbul akibat adanya fenomena perputaran bumi pada porosnya. Gaya coriolis (f) berpengaruh pada pergerakan massa yang awalnya lurus kemudian dibelokkan (Gambar 2). Pada belahan bumi utara (*north hemisphere*) terjadi pembelokan ke kanan dan belahan bumi selatan (*south hemisphere*) terjadi pembelokan ke arah kiri (Stewart, 2008).



Keterangan:

v_s adalah kecepatan arus geostropik permukaan (m/s).

ζ adalah ketinggian permukaan laut (m).

g adalah percepatan gravitasi (m/s^2).

f adalah parameter gaya coriolis, yang didefinisikan sebagai $2 * \Omega * \sin(\text{lat})$.

Ω adalah laju rotasi bumi dan lat adalah lintang tempat pengukuran.

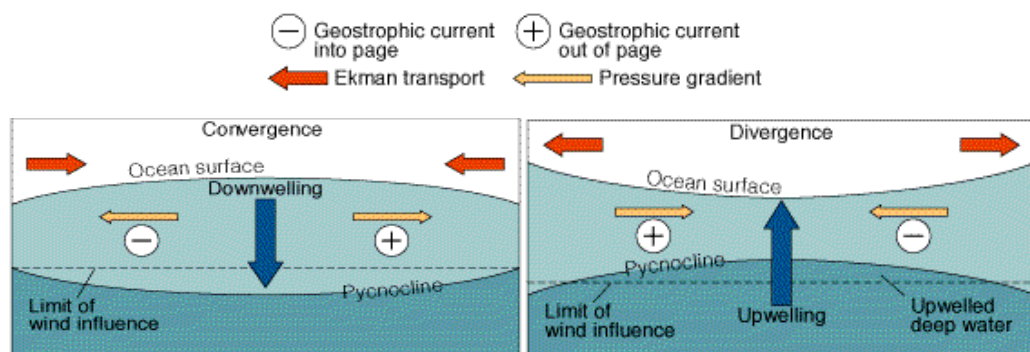
Gambar 2. Skema kecepatan geostropik permukaan arah x

Sumber: Ramdyan *et al.* (2013).

Arus geostropik terbentuk sebagai hasil dari keseimbangan antara gradien tekanan mendatar dan gaya coriolis di permukaan laut. Proses ini dimulai dari perbedaan ketinggian permukaan laut, yang menciptakan perbedaan tekanan di berbagai lokasi. Geoid adalah permukaan laut dalam keadaan diam. Arus geostropik (v_s)

terbentuk dari adanya perbedaan tinggi muka laut antara dua lokasi ($d\zeta/dx$), parameter gaya coriolis (f), dan percepatan gravitasi (g). Dengan demikian, arus geostropik adalah hasil dari interaksi yang mencakup perbedaan ketinggian permukaan laut, gravitasi bumi, dan gaya coriolis (Stewart, 2008).

Perbedaan tinggi muka laut diakibatkan oleh angin yang bertiup dari tekanan tinggi menuju tekanan rendah di atas permukaan laut. Akibatnya, angin menyebabkan penumpukan air pada beberapa tempat di lautan. Penumpukan massa air pada beberapa tempat akan mengakibatkan tempat-tempat tersebut memiliki muka laut yang lebih tinggi dari pada tempat lain (konvergen). Walaupun perbedaan kecil tetapi menyebabkan perbedaan tekanan sehingga aliran tekanan lebih tinggi menuju tempat yang bertekanan rendah (Dimas *et al.*, 2015).



Gambar 3. Skema arus geostropik pada zona konvergen dan divergen
Sumber: Krestenitis & Loanis, (1987).

Pada daerah konvergen arus geostropik bergerak secara siklonik (searah dengan jarum jam) (Supangat & Susanna, 2003). Zona konvergen (Gambar 3) dijelaskan berdasarkan konsep arus geostropik, di sisi kiri pusat konvergensi arus geostropik masuk atau menembus bidang batas gradien tekanan secara tegak lurus dan di sisi kanan pusat konvergensi arus geostropik bergerak keluar bidang gradien tekanan secara tegak lurus. Pada zona divergen berlaku sebaliknya (Krestenitis & Loanis, 1987).

2.2 Hubungan Arus Geostropik dengan Mekanisme *Upwelling* dan *Downwelling*

Upwelling adalah penaikan massa air laut dari lapisan dalam ke lapisan permukaan. Gerakan naik membawa air yang suhunya lebih dingin, salinitas tinggi, dan zat hara kuat akan nutrient ke permukaan (Nontji, 2005). Sebaliknya, *downwelling* didefinisikan sebagai pergerakan massa air di permukaan secara vertikal menggantikan massa air di bawahnya. Pergerakan yang menyebabkan aliran air laut permukaan menjauhi garis pantai, sehingga terdapat kekosongan massa air laut permukaan yang akan terisi oleh massa air bagian dalam terjadi karena pengaruh arus geostropik (Gambar 3).

Menurut Ramdyan *et al.* (2013), profil arus geostropik yang menyebabkan *upwelling* karena divergensi pusat arus yang mendorong massa air naik dari bawah menggantikan massa air di permukaan. Ramdyan *et al.* (2013) menambahkan jika profil arus geostropik yang menyebabkan *downwelling* terjadi akibat sifat konvergensi pusat arusnya yang menyebabkan turunnya massa air ke dalam perairan akibat penumpukkan massa air pada permukaan. Keberadaan arus geostropik di lautan ditunjukkan dengan perbedaan topografi di lautan sebagai akibat dari sifat konvergensi dan divergensi arus tersebut (Gambar 3).

Berdasarkan lokasi dan waktu terjadinya *upwelling* dibedakan atas beberapa tipe, antara lain,

1. *Upwelling* Pantai

Upwelling pantai terbentuk ketika angin bertiup sepanjang pantai mendorong permukaan air laut yang lebih hangat menjauh dari pantai, memungkinkan air yang lebih dingin dan lebih dalam naik ke permukaan (Ratnawati *et al.*, 2017).

2. *Upwelling* Ekuator

Upwelling ekuator terjadi ketika angin pasat bertiup dari timur ke barat di sepanjang khatulistiwa, mendorong permukaan air laut hangat dan kurang kaya nutrien ke arah barat. Akibat dari pergerakan angin ini, terjadi zona divergen di mana massa air atau muka laut menjadi lebih rendah (Ratnawati *et al.*, 2017).

3. *Upwelling* Musiman

Upwelling musiman yang terjadi sebagai respons terhadap perubahan pola angin musiman. Pola angin musiman yang berganti arah, seperti angin muson di sekitar wilayah kepulauan Indonesia dan pantai barat Australia, memengaruhi arus permukaan laut dan memicu proses *upwelling*. Fenomena ini terjadi di sebelah selatan Jawa dan di Laut Arab, di mana angin musiman mengubah arus laut dan menyebabkan *upwelling* musiman (Dahuri *et al.*, 1996).

2.3 Sebaran Klorofil-a

Klorofil-a merupakan salah satu parameter perairan yang sangat penting berperan dalam proses fotosintesis (Nufus *et al.*, 2017). Sebaran konsentrasi klorofil-a pada umumnya tinggi di perairan pantai. Kondisi tersebut sebagai akibat peningkatan suplai nutrisi yang berasal dari daratan melalui limpasan air sungai. Nilai konsentrasi klorofil-a yang rendah di perairan lepas pantai disebabkan kurangnya nutrisi di daerah tersebut. Nilai konsentrasi klorofil-a dapat menjadi tinggi jika terjadi sirkulasi massa air yang mengangkut nutrisi dengan konsentrasi tinggi dari dalam ke permukaan (Sukoharjo, 2012).

Penelitian Simon (2007), menyebutkan bahwa perairan di daerah tropis memiliki konsentrasi klorofil-a rendah karena keterbatasan nutrisi dan kuatnya stratifikasi kolom perairan akibat pemanasan pada permukaan perairan yang terjadi hampir sepanjang tahun. Berdasarkan pola sebaran klorofil-a secara musiman dan spasial di beberapa bagian perairan dijumpai konsentrasi klorofil-a yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh pengkayaan nutrisi pada lapisan permukaan perairan melalui proses dinamika massa air, di antaranya *upwelling*, dan pola pergerakan massa air yang kaya nutrisi dari perairan sekitarnya (Effendi *et al.*, 2012).

2.4 Suhu Permukaan Laut (SPL)

Suhu permukaan laut dipengaruhi oleh panas matahari, arus permukaan, dan *upwelling*. Faktor-faktor meteorologi juga berperan yaitu curah hujan, penguapan, kelembaban udara, suhu udara, kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari.

Variasi suhu musiman di permukaan untuk daerah tropis kecil, dimana variasi rata-rata musiman kurang dari 26°C yang terjadi di daerah khatulistiwa. Suhu di perairan nusantara umumnya berkisar antara 28-32°C (Aryawati, 2011).

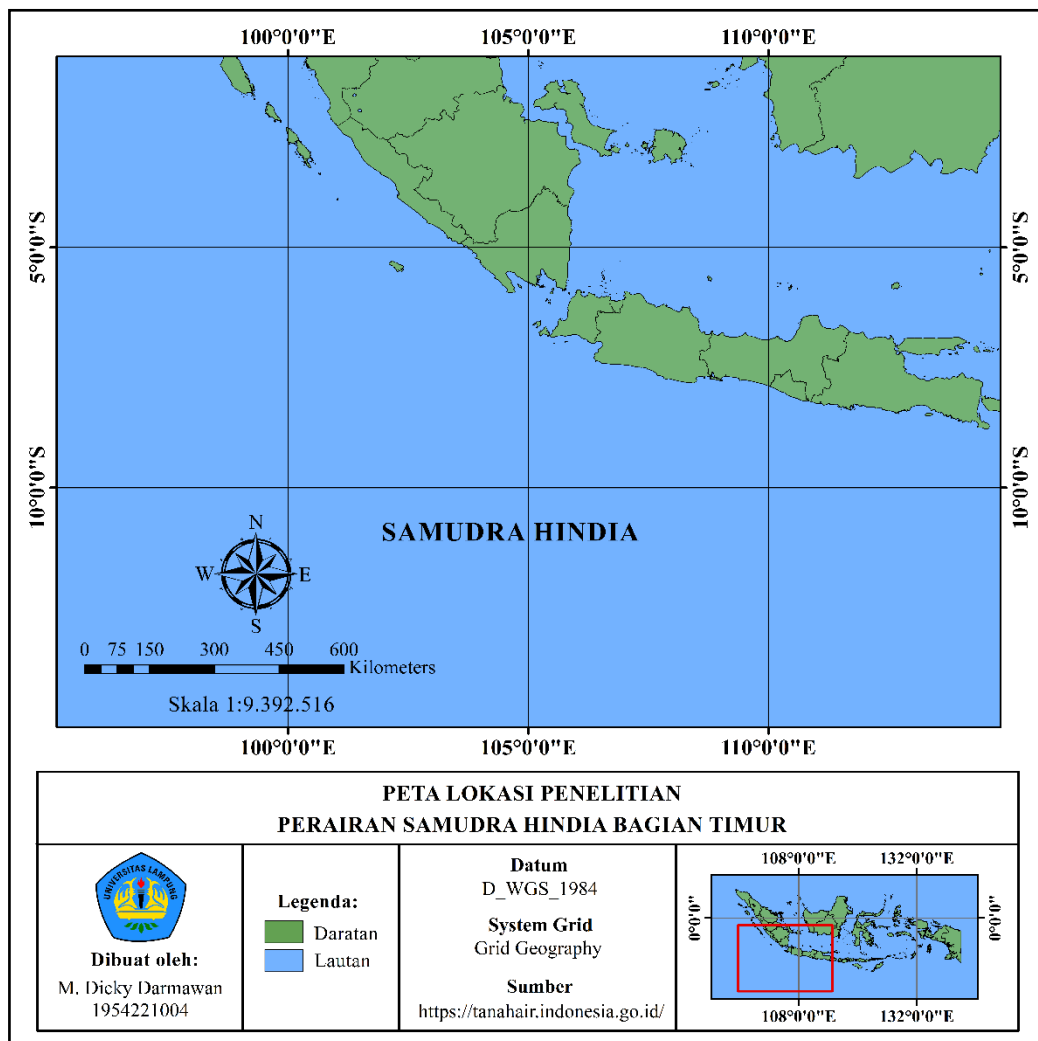
Suhu permukaan laut (SPL) digunakan sebagai salah satu cara untuk menduga keberadaan organisme di suatu perairan, khususnya ikan. Suhu permukaan laut mengindikasikan terjadinya *front* termal yaitu proses *upwelling*, *front* atau pengadukan air laut di suatu perairan. Suhu memengaruhi fotosintesis fitoplankton baik secara langsung ataupun tidak langsung. Fitoplankton dapat berkembang secara optimal pada kisaran suhu 20°C sampai dengan 30°C. Suhu dekat pantai biasanya sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di lepas pantai (Nontji, 2005). Suhu permukaan laut Indonesia secara umum berkisar antara 26-29°C, dan variasinya mengikuti perubahan musim. SPL hangat untuk perairan Indonesia berkisar antara 27-31°C dan SPL dingin berkisar di bawah 27°C (Aryawati, 2011).

Syafik *et al.* (2013), mengatakan saat musim timur, terjadi pergerakan arus ke arah barat dan angkutan Ekman ke arah selatan yang disebabkan oleh Bergeraknya angin dari tenggara menuju barat laut yang artinya menjauhi daratan. Arah arus laut di belahan bumi selatan (BBS) akan condong dibelokkan ke kiri dari arah angin. Sebaliknya, pada belahan bumi utara (BBU) arah arus akan condong dibelokkan ke arah kanan dari arah angin (Ridha *et al.*, 2013).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Mei hingga Juni tahun 2023. Wilayah kajian penelitian dimulai dari perairan Samudra Hindia sebagian barat Sumatra, hingga wilayah di selatan Jawa. Daerah penelitian secara astronomis terletak pada 95° BT, 1° LS hingga 115° BT, 15° LS. Daerah penelitian disajikan pada Gambar 5.



Gambar 4. Peta lokasi penelitian.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Alat penelitian

No.	Alat	Spesifikasi	Kegunaan
1.	Laptop	Lenovo Legion 5 17ACH6	Digunakan sebagai perangkat untuk melakukan proses pengolahan dan penyimpanan data.
2.	Perangkat lunak Python	Versi 3.9	Digunakan untuk mengakses perangkat lunak Jupyter Notebook dan mengunduh yang dibutuhkan dalam proses pengolahan data yang dilakukan di perangkat lunak Jupyter Notebook.
3.	Perangkat lunak Anaconda	Versi 23.1.0	Digunakan untuk mengakses perangkat lunak Jupyter Notebook yang dihubungkan dengan perangkat lunak Python. Selain itu, digunakan dalam pengunduhan dan perjalanan fitur <i>Cartopy</i> yang berfungsi untuk memvisualisasikan arus geostropik.
4.	Perangkat lunak Jupyter Notebook	Versi 6.5.2	Digunakan sebagai perangkat dalam proses pengolahan data arus geostropik dan indeks <i>upwelling</i> .

Tabel 2. Bahan penelitian

No.	Bahan/Data	Sumber Data	Kegunaan
1.	Data citra Altimetri	<i>Marine Copernicus</i> https://data.marine.copernicus.eu/	Digunakan untuk mengetahui arus geostropik yang berasal dari data tinggi muka laut dan angin permukaan laut.
2.	Data citra Aqua Modis	<i>Ocean Color</i> https://oceancolor.gsfc.nasa.gov	Digunakan dalam pembuatan peta sebaran suhu permukaan laut dan klorofil-a. Selain itu, digunakan dalam pembuatan peta indeks <i>upwelling</i> .
3.	Peta lokasi	Ina Geospasial https://tanahair.indonesia.go.id/	Digunakan dalam pembuatan area model penelitian.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini meliputi; pengumpulan data, analisis data, dan penyajian hasil analisis. Data yang dikumpulkan terdiri dari data tinggi muka laut, suhu permukaan laut, dan klorofil-a. Analisis data dilakukan untuk mendapatkan pola sebaran arus geostropik secara spasial dan temporal. Penyajian data dibuat dalam bentuk peta sebaran.

3.3.1 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan terdiri dari data tinggi muka laut, suhu permukaan laut, dan klorofil-a. Data tinggi muka laut didapatkan dari citra satelit Altimetri yang diakses melalui situs <https://data.marine.copernicus.eu/>. Data tinggi muka laut yang digunakan yaitu data rata-rata bulanan selama 5 tahun yakni pada tahun 2016-2020 dengan resolusi spasial sebesar $0,25^\circ$ atau 27,83 km. Data suhu permukaan laut dan klorofil-a didapatkan dari citra satelit Aqua Modis yang diakses melalui situs <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>. Data suhu permukaan laut dan klorofil-a yang digunakan yaitu data rata-rata bulanan selama 5 tahun yakni pada tahun 2016 hingga tahun 2020 dengan resolusi spasial sebesar 1.000 m.

3.3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu perhitungan arus geostropik yang terdiri dari komponen zonal, meridional, arah, dan kecepatan berdasarkan tinggi muka laut, pengolahan angkutan Ekman berdasarkan arus geostropik, dan pengolahan potensi terjadinya *upwelling*. Perhitungan arus geostropik, angkutan Ekman, dan identifikasi *upwelling* dilakukan dengan metode *could computing* menggunakan perangkat lunak Jupiter Nootbook yang berbasis bahasa pemrograman Python. Skrip pengolahan data disajikan pada Lampiran 1.

3.3.2.1 Arus Geostropik

Arus geostropik (arah dan kecepatan) dihitung berdasarkan data ketinggian muka laut. Arus geostropik dihitung secara spasial dan temporal. Komponen arus geostropik zonal (u) dan meridional (v) pada suatu titik dan waktu, dihitung menggunakan persamaan (1) - (4).

$$u = -\frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial y} \dots\dots\dots(1)$$

$$v = \frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \dots\dots\dots(2)$$

$$V = \sqrt{u^2 + v^2} \dots\dots\dots(3)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{v}{u}\right) \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

u adalah komponen arus geostropik zonal (m/s).

v adalah komponen arus geostropik meridional (m/s).

$\frac{\partial \zeta}{\partial y}$ adalah gradien tekanan berdasarkan tinggi muka laut per satuan jarak y (Pa/m).

$\frac{\partial \zeta}{\partial x}$ adalah gradien tekanan berdasarkan tinggi muka laut per satuan jarak x (Pa/m).

g adalah gravitasi (m/s^2).

f adalah parameter gaya coriolis, yang didefinisikan sebagai $2 \cdot \Omega \cdot \sin(\text{lat})$, di mana Ω adalah laju rotasi bumi dan lat adalah lintang (rad/s).

V adalah kecepatan arus geostropik (m/s).

θ adalah arah arus geostropik ($^\circ$).

3.3.2.2 Angkutan Ekman

Angkutan Ekman (arah dan kecepatan) dihitung berdasarkan hasil komponen arus geostropik zonal (u) dan meridional (v). Angkutan Ekman dihitung secara spasial dan temporal. Komponen angkutan Ekman zonal (u_{ek}) dan meridional (v_{ek}) pada suatu titik dan waktu, dihitung menggunakan persamaan (3) - (5).

$$u_{ek} = -\left(\frac{1}{\rho f}\right) v \dots\dots\dots(3)$$

$$v_{ek} = \left(\frac{1}{\rho f}\right) u \dots\dots\dots(4)$$

$$V_{ek} = \sqrt{u_{ek}^2 + v_{ek}^2} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

u_{ek} adalah komponen angkutan Ekman zonal (m^3/s).

v_{ek} adalah komponen angkutan Ekman meridional (m^3/s).

f adalah parameter coriolis (rad/s).

ρ adalah kerapatan air laut (1025 kg/m^3).

u adalah komponen arus geostropik zonal (m/s).

v adalah komponen arus geostropik meridional (m/s).

V_{ek} adalah kecepatan angkutan Ekman (m^3/s).

3.3.2.3 *Upwelling*

Fenomena *upwelling* diidentifikasi berdasarkan arus geostropik (*eddies*) dan angkutan Ekman. *Eddies* yang dimanfaatkan adalah yang bergerak secara anti siklonik, sementara angkutan Ekman yang diperhatikan adalah yang bergerak secara divergen (menyebar). Kedua komponen ini menjadi acuan utama dalam pembuatan peta perkiraan *upwelling*. Dengan demikian, daerah yang terjadi *eddies* antisiklonik dan angkutan Ekman yang divergen menjadi faktor utama dalam pendugaan terjadinya *upwelling*.

3.3.3 Penyajian Data

Hasil pengolahan data disajikan dalam bentuk peta. Peta hasil penelitian terdiri dari peta sebaran tinggi muka laut, peta arus geostropik, peta angkutan Ekman, peta kejadian *upwelling*, peta sebaran suhu permukaan laut dan peta klorofil-a.

3.3.4 Analisis Data

Analisis data yang digunakan yaitu analisis deskriptif secara spasial dan temporal dengan menganalisis hasil peta arus geostropik berdasarkan tinggi muka laut, angkutan Ekman, serta kejadian *upwelling*. Pola arus geostropik dianalisis arah dan perubahannya. Pola angkutan Ekman dianalisis arah dan hubungan dengan arus geostropik. Serta, menganalisis peta *upwelling* untuk mengetahui wilayah potensi terjadinya *upwelling* yang divalidasi dengan peta sebaran suhu permukaan laut dan klorofil-a.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian yang telah dilakukan yaitu, sebagai berikut:

1. Pola arus geostropik di perairan terbuka ditandai dengan terbentuknya *eddies* dengan pola siklonik dan antisiklonik sebagai akibat adanya zona konvergen dan divergen karena tinggi muka laut yang terbentuk.
2. Angkutan Ekman akan selalu membentuk arus yang bergerak 90° ke kanan dari arah arus geostropik di dekat pantai, sementara pada perairan terbuka akan bergerak menjauhi pusat *eddies* pada zona divergen dan mendekati pusat *eddies* pada zona konvergen.
3. *Upwelling* di dekat pantai hanya terjadi di selatan Jawa dengan intensitas tertinggi terjadi pada musim timur, sedangkan di perairan terbuka intensitas *upwelling* lebih sedikit terjadi pada zona divergen.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Fenomena *upwelling* tidak terjadi di pantai barat Sumatra, tetapi konsentrasi klorofil-a yang tinggi sepanjang tahun dapat dijadikan sebagai indikator daerah penangkapan ikan.
2. Fenomena *upwelling* di selatan Jawa hanya terjadi secara musiman, sehingga usaha penangkapan ikan harus memperhatikan fenomena tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. 2001. *Geodesi Satelit*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta. 219 hlm.
- Ahmed, S. R., & Lakhan, V. C. 2012. GIS-based analysis and modeling of coastline advance and retreat along the coast of Guyana. *Marine Geodesy*, 35(1), 1-15.
- Alawiyah, E. A., Sasmito, B., & Bashit, N. 2018. Analisis pola arus geostropik perairan Samudera Hindia untuk identifikasi *upwelling* menggunakan data satelit Altimetri. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1):68-78.
- Alfajri, A., Mubarak, M., & Mulyadi, A. 2017. Analisis spasial dan temporal sebaran suhu permukaan laut di perairan Sumatera Barat. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 4(1):65-74.
- Anam, K. 2019. *Analisis Dinamika Upwelling di Selatan Jawa dan Barat Sumatra pada Kejadian IOD Positif*. (Skripsi). Universitas Sriwijaya. Indralaya. 45 hlm.
- Aryawati, R & Thoha, H. 2011. Hubungan kandungan klorofil-a dan kelimpahan fitoplankton di perairan Berau Kalimantan Timur. *Maspari Journal*, 02(1): 89-94.
- Auliansyah, A. P. 2022. *Analisis Pengaruh Fenomena Upwelling terhadap Daerah Potensial Penangkapan Ikan di Perairan Teluk Jakarta*. (Tesis). Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta. 135 hlm.
- Bennett, M. G., Lee, S. S., Schofield, K. A., Ridley, C. E., Washington, B. J., & Gibbs, D. A. 2021. Response of chlorophyll a to total nitrogen and total phosphorus concentrations in lotic ecosystems: a systematic review. *Environmental Evidence*, 10(1):1-25.
- Cahya, C. N., Setyohadi, D., & Surinati, D. 2016. Pengaruh parameter oseanografi terhadap distribusi ikan. *Oseana*, 41(4):1-14.
- Dahuri, R., Ginting, SP., Rais, J., & Sitepu, MJ. 1996. *Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. Pradnya Paramita. Jakarta. 160 hlm.

- Demi, L., Tupamahu, A., Waas, H.J.D., Sarianti, D., & Haris, R.B.K. 2020. Karakteristik oseanografi pada daerah penangkapan ikan tuna di Samudera Hindia bagian timur Indonesia. *Jurnal Ilmu-ilmu Perikanan dan Budidaya Perairan*, 15(1):48-62.
- Dimas, R., Setiyono, H., & Helmi, M., 2015. Arus geostropik permukaan musiman berdasarkan data satelit Altimetri tahun 2012-2013 di Samudra Hindia bagian timur. *Journal of Oceanography*, 4(4):756–764.
- Effendi, R., Palloan, P., & Ihsan, N. 2012. Analisis konsentrasi klorofil-a di perairan sekitar ota Makassar menggunakan data satelit Topex/Poseidon. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 8(3):279-285.
- Gordon, A. L. 2005. Oceanography of the Indonesian Seas and their through-flow. *Oceanography*, 18(4):15-27.
- Haryanto, Y. D., Fajar, B., & Riama, N, F. 2021. Pengaruh *madden julian oscillation* (MJO) terhadap variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil-a di Laut Natuna. *Jurnal Kelautan*, 14(3):278-283.
- Haryanto, Y. D., Hadiman, H., Agdialta, R., & Riama, N. F. 2021. Pengaruh el nino terhadap pola distribusi klorofil-a dan pola arus di wilayah perairan selatan Maluku. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(3):364-374.
- Hatta, M. (2014). Hubungan antara parameter oseanografi dengan kandungan klorofil-a pada musim timur di perairan utara Papua. *Torani Journal of Fisheries and Marine Science*, 24(3):33-38.
- Kepmen-KP No. 107. 2015. Tentang rencana pengelolaan perikanan tuna, cakalang dan tongkol. Jakarta. 219 hlm.
- Krestenitis & Loannis, N. 1987. *Numerical Study of Three Dimensional Coastal Circulation Using Algebraic Transformations*. University of Aristoteles Thessaloniki. 237 hlm.
- Maryunus, R. P. 2018. Pengendalian penyakit ice-ice budidaya rumput laut, *Kappaphycus alvarezii*: korelasi musim dan manipulasi terbatas lingkungan. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*, 10(1):1-10.
- Nufus, H., Karina, S., & Agustina, S. 2017. Analisis sebaran klorofil-a dan kualitas air di Sungai Krueng Raba Lhoknga Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 2(1):58-65.
- Nontji, A. 2005. *Laut Nusantara*. Djambatan. Jakarta. 367 hlm.
- Penven, P., Halo, I., Pous, S., & Marie, L. 2014. Cyclogeostrophic balance in the Mozambique Channel. *Journal of Geophysical Research*, 119(2):1054-1067.

- Pranowo, W. S., Tussadiah, A., Syamsuddin, M. L., Purba, N. P., & Riyantini, I. 2016. karakteristik dan variabilitas *eddies* di Samudera Hindia selatan Jawa. *Jurnal Segara*, 12(3):159-165.
- Purnamasari, S. 2020. Angin musim barat/angin muson barat dan SJC yang berpengaruh terhadap penumpukan massa air di pantai selatan Jawa. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 11(2):1-10.
- Ramadyan, F., & Radjawane, I. 2013. Arus geostrofik permukaan musiman di perairan Arafura-Timor. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(2):261-271.
- Ratnawati, H. I., Hidayat, R., Bey, A., & June, T. 2017. *Upwelling* di Laut Banda dan pesisir selatan Jawa serta hubungannya dengan ENSO dan IOD. *Omni-Akuatika*, 12(3):119-130.
- Ridha., Muskananfolo M, R., & Hartoko, A. 2013. Analisa sebaran tangkapan ikan lemuru (*Sardinella lemuru*) berdasarkan data satelit SPL dan klorofil-a di perairan Selat Bali. *Diponegoro Journal of Masquares, Management of Aquatic Resources*, 2(4):53-60.
- Sabrina, U. E. 2016. *Analisis Pola Subduksi Daerah Jawa Timur dengan Metode Segmen Irisan Vertikal dan Seismisitas Lateral*. (Disertasi). Universitas Brauwijaya. Malang. 103 hlm
- Safinatunnajah, N., Wirasatriya, A., Rifai, A., Setiyono, H., Ismanto, A., Setiawan, J. D., & Nugraha, A. L. 2021. Influence of 2019 strong positive IOD on the *upwelling* variability along the southern coast of Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 28-29 Juli 2021*. Yogyakarta. Hlm:919.
- Schleiermacher, T., Silvestri, C., Zeller, D., & Pauly, D. 2016. Using primary productivity indices to predict Indian Ocean skipjack tuna catches. *Fisheries Research*, 1(1):174-181.
- Setyono, H., & Harsono, G. 2014. Dinamika *upwelling* dan *downwelling* berdasarkan variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan selatan Jawa. *Journal of Oceanography*, 3(1):57-66.
- Sigid, M. F., Abdillah, M. R., & Dupe, Z. L. 2021. Perubahan karakteristik curah hujan jangka panjang di Provinsi Jawa Barat tahun 1921-2010. *Jurnal Sains Dirgantara*, 18(2):99-110.
- Silubun, D. T., Gaol, J. L., & Naulita, Y. 2015. Estimasi intensitas *upwelling* pantai dari satelit Aqua Modis di perairan selatan Jawa dan barat Sumatera. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 6(1):21-29.

- Simon, T., Kaswadji, R. F., Purba, M., Wouthuyzen, S., & Soedharma, D. 2007. Kajian klorofil-a dan nutrien serta interelasinya dengan dinamika massa air di perairan barat Sumatera dan selatan Jawa-Sumbawa. *Scientific Journal*, 41(1):1-17.
- Stewart, R. H. 2008. *Introduction to Physical Oceanography*. Departement Of Oceanography. Texas A and M University. Texas. 313 hlm.
- Sukoharjo, S. 2012. Variabilitas konsentrasi klorofil-a di perairan Selat Makasar: pendekatan wavelet. *Jurnal Segara*, 8(2):635-650.
- Supangat, A., & Susanna. 2003. *Pengantar Oseanografi*. Badan Riset Kelautan Perikanan, Departemen Perikanan dan Kelautan RI. Jakarta. 270 hlm.
- Syafik, A., & Kunarso, H. 2013. Pengaruh sebaran dan gesekan angin terhadap sebaran suhu permukaan laut di Samudera Hindia (WPPRI 573). *Jurnal Oseanografi*, 2(3):318-328.
- 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*. Bali. 25-27 Oktober 2016, 1(1):1-8.
- Wahid, M. A. 2023. Kajian fenomena *upwelling* di perairan Sumatera bagian selatan serta mengidentifikasi pengaruhnya terhadap wilayah Aceh. *Universitas Islam Negeri Ar-Raniry*, 1(1):35-75.
- Wardani, R., Pranowo, W. S., & Indrayanti, E. 2013. Struktur vertikal *upwelling-downwelling* di Samudera Hindia selatan Jawa hingga selatan Bali berdasarkan salinitas musiman periode 2004–2010. *Depik*, 2(3):191-199.
- Webb, P. 2021. *Introduction to Oceanography*. Roger Williams University. Bristol. 284 hlm.
- Yananto, A., & Sibarani, R. M. 2016. Analisis kejadian el nino dan pengaruhnya terhadap intensitas curah hujan di wilayah Jabodetabek (studi kasus: periode puncak musim hujan tahun 2015/2016). *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 17(2): 65-73.