

The Influence of Indonesian Throughflow on the Dynamics of Climate and Waters in the Indonesian Region

CORRESPONDENCE

Email :
sulist_klim@yahoo.com
Phone : 081363523818

ARTICLE INFORMATION

DOI :
10.24036/jccs/Vol2-iss2/33
Page : 134-144

Received : Nov 2, 2024
Revised : Nov 29, 2024
Accepted : Nov 30, 2024

Andi Sulistiyono^{1*}, Budi Iman Samiaji²

^{1,2} Agency for Meteorology Climatology and Geophysics, West Sumatera,
Indonesia

ABSTRACT

Journal references provide an overview of the current between the Pacific and Indian Oceans, referred to as the Indonesian Throughflow (Arlindo), which is part of the global thermohaline circulation that impacts the dynamics of the atmosphere and oceans by changing the circulation and characteristics of the sea water masses of the two oceans. Determining the features and impact of Arlindo on water dynamics and climate phenomena in the Indonesian region particularly in the area where this current crosses is the aim of this study. The research uses the Systematic Literature Review (SLR) method in which the literature data has been carried out Quality Assessment in accordance with the study topics that will be raised. The reference results revealed that the Indonesian Throughflow can affect nutrient distribution and climate variability through changes in surface temperature and sea water density. The characteristic properties of the Indonesian Throughflow change seasonally and accompany climatic phenomena such as ENSO, Dipole Mode and Madden-Julian Oscillation. The Indonesian Throughflow is an important component that significantly influences climate conditions and variability in the Indonesian region. Therefore, it is necessary to understand the implications of the Indonesian Throughflow on water dynamics, especially in the current crossing areas.

KEYWORDS : Arlindo, Systematic Literature Review, Variabilitas Iklim



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2023 by author and Universitas Negeri Padang.

INTRODUCTION

Wilayah Indonesia yang merupakan wilayah kontinen yang artinya bahwa keadaan cuaca dan iklim sangat besar dipengaruhi dinamika atmosfer Samudra. Perairan Indonesia memiliki pengaruh penting terhadap iklim global sehingga perairan Indonesia merupakan penghubung dua sistem Samudra yaitu Samudra Pasifik dan Samudra Hindia [1]. Ronsenfield dalam [2] mengemukakan bahwa Indonesia menjadi penghubung jalur conveyor belt atau yang lebih dikenal dengan Arus Lintas Indonesia (Arlindo) yang mana Arlindo ini secara simultan mengontrol sirkulasi global.

Arlindo, atau Arus Lintas Indonesia, adalah sistem arus laut penting yang memainkan peran vital dalam dinamika perairan dan atmosfer di wilayah Indonesia. Arus ini menghubungkan Samudra Pasifik dan Samudra Hindia, serta mempengaruhi pola pergerakan air dan udara di kawasan. Arlindo mengangkut massa air hangat dari Pasifik ke Hindia, memicu terjadinya sirkulasi vertikal dan horizontal yang penting bagi kesuburan perairan dan iklim regional. Variabilitas Arlindo dapat secara signifikan

berdampak pada keadaan fisis laut yang diwujudkan pada keadaan lapisan laut, proses fisis arus laut dan atmosfer di atasnya hingga dapat menyebabkan pergeseran keanekaragaman hayati laut seperti mempengaruhi populasi ikan dan kesehatan terumbu karang secara keseluruhan.

Arus Lintas Indonesia ini memiliki pengaruh pada distribusi banyak hal seperti distribusi curah hujan, suhu air laut, dan sebagainya. Oleh karena itu, kajian mengenai Arus Lintas Indonesia menjadi penting untuk pemahaman sistem laut Indonesia [3][4]. Arus Lintas Indonesia (Arlindo) ini berdampak pada dinamika lautan dengan cara mengubah sirkulasi dan karakteristik massa air di Samudra Hindia. Perubahan dalam transportasi Arlindo dapat mempengaruhi transformasi massa air dan sirkulasi di Samudra Hindia, yang pada gilirannya dapat memengaruhi variabilitas iklim melalui perubahan suhu permukaan laut (SST) dan pola curah hujan [5]

Tujuan penulisan artikel ini adalah untuk mengetahui dan mengenali karakteristik Arlindo dengan jalan meninjau pengaruh serta hubungan terhadap dinamika perairan dan iklim di wilayah Indonesia. Penulisan literature review dari sumber referensi jurnal yang relevan terkait dengan fenomena Arlindo diharapkan dapat memberikan informasi serta pemahaman tentang Arlindo yang keberadaannya mempengaruhi keadaan iklim baik skala global maupun regional dan struktur laut perairan Indonesia. Hasil kajian literatur ini diharapkan mampu menjadi referensi bagi peneliti untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut tentang karakteristik dan dinamika Arlindo pada oseanografi di wilayah Indonesia.

METHODS

Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review (SLR)*. *Systematic Literature Review (SLR)* adalah metode penelitian yang sistematis untuk menganalisis dan menyusun literatur yang ada terkait suatu topik penelitian. Metode ini melakukan identifikasi, evaluasi dan interpretasi terhadap hasil penelitian yang relevan tentang suatu penelitian topik tertentu, atau fenomena yang menjadi perhatian. *Systematic Literature Review (SLR)* disusun untuk menyediakan jawaban dari pertanyaan penelitian topik tertentu dari berbagai jurnal literatur hasil penelitian yang relevan terhadap topik yang akan disampaikan. Pada kajian literature ini akan disampaikan tentang hal yang mendasari pembentukan dan karakteristik arus laut yang terjadi pada Arlindo dan pengaruh serta hubungannya dengan sirkulasi iklim baik pada skala regional maupun global.

1. Search Process (proses pencarian) dan Penyaringan Artikel (Quality Assesment)

Proses pencarian Jurnal yang akan digunakan sebagai sumber data literature review diperoleh dari database Crossref dengan menggunakan aplikasi *Publish or Perish* dengan menggunakan kata kunci "Arlindo" dan "Indonesia Trough Flow (ITF)". Jurnal yang akan digunakan dibatasi waktu publikasi dalam rentang tahun 2015-2023. Penyaringan Artikel data jurnal (*Inclusion and Exclusion Criteria*) yang akan digunakan menjadi sumber data literature penelitian terdiri dari:

- Data yang digunakan adalah type *journal-article* sehingga type lain seperti *book*, *monograph*, *proceeding* dan *report* dihilangkan dari data base.
- Sumber jurnal yang dipilih mempunyai ruang lingkup kajian dinamika atmosfer dan perairan (kelautan) sehingga sumber jurnal selain itu dihilangkan dari data base.
- Wilayah penelitian pada Literature diambil wilayah perairan yang berada pada perlintasan Arlindo (Selat Makasar, Laut Banda-Maluku, laut Sulawesi), Samudera Pasifik bagian barat serta Samudera Hindia bagian selatan.
- Digunakan jurnal yang *open acceses*.
- Iktisar jurnal mencakup bahan yang memuat dan menjawab dari *Research Question*

2. **Research Question (Pertanyaan Penelitian)**

Research Question atau pertanyaan penelitian dibuat berdasarkan kebutuhan dari pembahasan ide literature yang dipilih. metode *Systematic Literature Review* (SLR) disusun untuk menyediakan jawaban dari pertanyaan penelitian dari jurnal penelitian yang relevan terhadap topik yang akan disampaikan. Adapun *research question* adalah sebagai berikut:

- a. RQ1: Bagaimana pembentukan dan karakteristik Arlindo?
- b. RQ2: Apa pengaruh Arlindo pada sifat fisis dan struktur Laut?
- c. RQ3 : Apakah Arlindo ikut menyebabkan *Upwelling* di perairan?
- d. RQ4 : Apa pengaruh Arlindo terhadap arus laut dan distribusi nutrien?
- e. RQ5 : Bagaimana pengaruh Arlindo terhadap dinamika iklim?

3. **Tahap Analisis**

Tahap ini dilakukan analisis jurnal dengan membaca abstrak, dan mencari beberapa kriteria menggunakan Artificial Intelligence yang mencakup topik pembahasan yang akan diangkat pada penelitian SLR ini. Analisis terhadap data jurnal dilakukan mencakup:

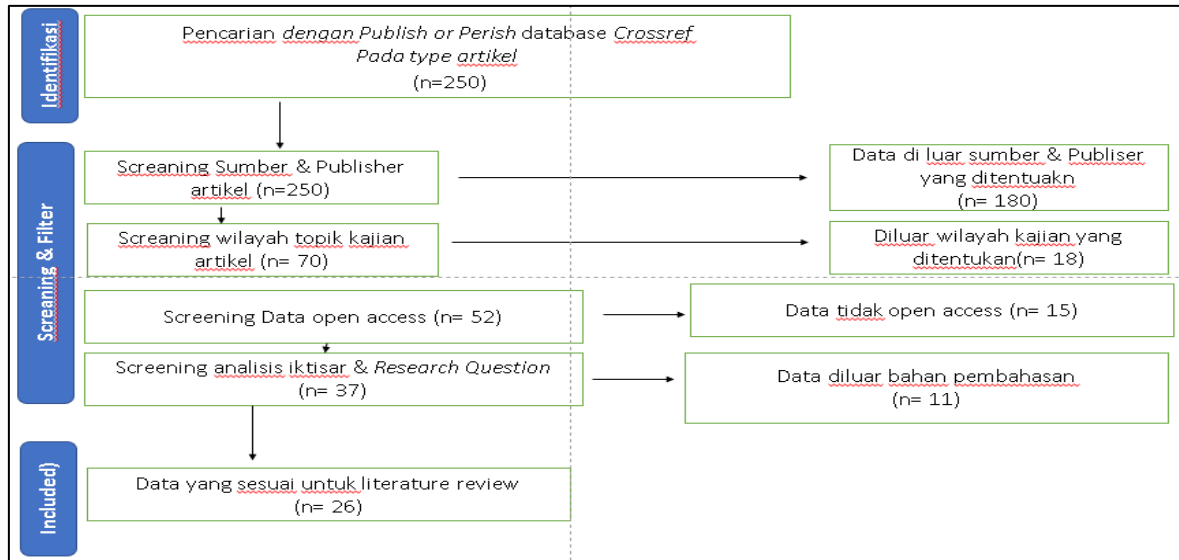
- *Analisis Iktisar jurnal*
Analisis Iktisar jurnal dilakukan melalui *Artificial Intelligence* untuk mendapatkan gambaran umum tentang isi dan hasil yang ada di jurnal sehingga dapat diketahui apakah jurnal tersebut masih berada di ruang lingkup kajian yang sama pada topik yang akan dibahas pada penelitian ini.
- *Analisis Research Question*
Menganalisis isi data jurnal dengan mengajukan pertanyaan berdasarkan *Research Question* dan pengembangan pertanyaan lainnya keterkaitan dengan topik yang akan di bahas. Pertanyaan pada jurnal dilakukan dengan *Artificial Intelligence*. Pengembangan pertanyaan dilakukan untuk menggali informasi yang pada data jurnal yang selanjutnya akan dituangkan pada pembahasan pada penelitian ini.

RESULTS AND DISCUSSION

Results

1. **Hasil Pencarian Data Base Jurnal dan Penyaringan Artikel**

Pencarian awal jurnal dengan menggunakan kata kunci "Arlindo" dan "Indonesia Trough Flow (ITF)". dengan menggunakan aplikasi *Publish or Perish*. Pada pencarian awal ini dapatkan jurnal berdasarkan jurnal dengan *type article* sebanyak 250 jurnal. Selanjutnya difilter dengan sumber jurnal dan *publisher* yang berhubungan dengan dinamika atmosfer dan perairan (kelautan) sehingga sebanyak 180 jurnal dihilangkan dan didapatkan sebanyak 70 jurnal yang akan dilakukan screening berdasarkan wilayah topik kajian. Dari sini didapatkan sebanyak 52 jurnal yang akan coba di buka. Jurnal yang open access didapatkan sebanyak 37 yang selanjutnya akan dilakukan screening berdasarkan iktisar jurnal dengan menggunakan bantuan *Artificial Intelligence* didapatkan jurnal sebanyak 26. Selanjutnya 26 jurnal tersebut akan digunakan sebagai data base jurnal literatur. Untuk lebih jelas tahap screening dan jumlah jurnal yang didapatkan disajikan pada gambar 1 di bawah ini



Gambar 1. Skema Pemilihan Jurnal

Tabel 1. Hasil Pencarian Jurnal

Year	2022: 3 jurnal 2021: 3 jurnal 2020: 3 jurnal 2019: 5 jurnal 2018: 3 jurnal 2017: 2 jurnal 2016: 2 jurnal 2015: 1 jurnal 2013: 1 jurnal 2012: 2 jurnal
Source	Sci Rep 2 jurnal Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis 2 jurnal IOP Conference Series 2 jurnal Jurnal Perikanan dan Kelautan Jurnal Hidrografi Indonesia Buletin Oseanografi Marina Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhanan Jurnal Chart Datum Acta Oceanologica Sinica Jurnal Kelautan Nasional Depik 2 Indonesian Journal of Marine Sciences Jurnal Miyang J Clim Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan ECOTROPIC Jurnal Ilmu Kelautan Jurnal Perikanan dan Ilmu Kelautan Bulletin of the Marine Geology

	Geosci Lett J Geophys Res Oceans Sciedirect
--	---

2. Hasil Analisis Data Literature Jurnal

Tahapan ini merupakan jurnal yang bersesuaian dengan research question (RQ) yang selanjutnya akan dituangkan pada pembahasa. Analisis ikhisar dilakukan dengan pembacaan yang dilakukan dengan *Artificial Intelegant* dan sekaligus dilakukan pertanyaan pokok pada *Research Question* dan sesuai dengan bahasan yang akan disajikan.

- a. RQ1: Bagaimana pembentukan dan karakteristik Arlindo.?

Untuk bahasan mengenai pembentukan dan karakteristik Arlindo didapatkan dihasilkan jurnal yang sesuai sebanyak 6 jurnal.
- b. RQ2: Apa pengaruh Arlindo pada sifat fisis dan struktur Laut?

Untuk jurnal yang membahas mengenai pengaruh Arlindo pada sifat fisis dan struktur Laut didapatkan jurnal yang sesuai sebanyak 12 jurnal
- c. RQ3 : Apakah Arlindo ikut menyebabkan *Upwelling* di perairan?

Untuk jurnal yang membahas Arlindo ikut menyebabkan *Upwelling* di perairan ditemukan jurnal yang sesuai sebanyak 4jurnal.
- d. RQ4 : Apa pengaruh Arlindo terhadap arus laut dan distribusi nutrien?

Untuk jurnal yang membahas pengaruh Arlindo terhadap arus laut dan distribusi nutrien ditemukan jurnal yang sesuai sebanyak 3 jurnal.
- e. RQ5 : Bagaimana pengaruh Arlindo terhadap dinamika iklim?

Untuk jurnal yang membahas pengaruh Arlindo terhadap dinamika iklim ditemukan jurnal yang sesuai sebanyak 8 jurnal.

Discussion

1. Pembentukan dan Karakteristik Arus Lintas Indonesia

Pembentukan dan adanya Arlindo disebabkan karena bebarapa faktor baik itu secara geografis maupun pengaruh dinamika yang terjadi di atmosfer di atas periaran dan di laut itu sendiri [6]. Arus Lintas Indonesia terjadi akibat adanya perbedaan tekanan di antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Arus ini digerakkan oleh tiupan angin Passat yang bertiup dari tenggara dan perbedaan densitas antara kedua Samudra tersebut. Selain itu, sistem musiman angin Muson di Indonesia juga sangat mempengaruhi karakteristik Arus Lintas Indonesia [3]. Karakteristik Arus Lintas Indonesia juga dipengaruhi oleh fenomena iklim global seperti ENSO, Dipole Mode di Samudra Hindia dan MJO.

Arus Lintas Indonesia adalah sistem kompleks tiga dimensi yang terdiri dari beberapa komponen arus. Komponen utama dari arus lintas indonesia adalah Arus Makassar, Arus Halmahera, dan Arus Maluku yang membawa massa air hangat dari Samudra Pasifik ke Samudra Hindia. Masuknya air Samudra Pasifik ke Samudra Hindia melalui Laut Indonesia, didorong oleh perbedaan tinggi muka air laut di antara kedua samudra tersebut. Massa air yang membentuk Arlindo berasal dari Pasifik Utara dan Pasifik Selatan, yang memasuki perairan Indonesia melalui dua jalur utama: jalur barat melalui Laut Sulawesi dan jalur timur melalui Laut Halmahera dan Laut Maluku [7]. Arus Lintas Indonesia atau Arus Lintas Laut Indonesia terbentuk karena adanya perbedaan densitas dan tekanan antar Samudra. Arus ini terbentuk akibat distribusi densitas air laut yang berbeda antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia [8].

Arus Lintas Indonesia (Arlindo) mempengaruhi anggaran panas Samudra Hindia bagian utara dan selatan dengan cara menyerap dan melepaskan panas. Di Samudra Hindia bagian utara, *Arlindo waters* menyerap 0.41 PW (Petawatts) panas, sedangkan di bagian selatan, *Arlindo waters* kehilangan 0.56 PW panas. Akibatnya, *Arlindo waters* hanya menghangatkan seluruh cekungan Samudra Hindia dengan 0.15 PW, yang menunjukkan peran Arlindo yang "tidak signifikan" di Samudra Hindia karena adanya kompensasi pertukaran panas antara bagian utara dan selatan [9]

Arus Lintas Indonesia ini memiliki pengaruh penting terhadap struktur dan sifat lapisan laut di wilayah Indonesia yang menyebabkan pembentukan lapisan-lapisan air laut dengan karakteristik yang beragam. Arlindo membawa massa air hangat dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia. Akibatnya, suhu permukaan laut di sepanjang jalur Arlindo umumnya lebih tinggi dibandingkan wilayah sekitarnya. Arlindo membawa massa air dari Selat Makassar yang dapat menyebabkan peningkatan suhu di Laut Jawa bagian timur pada periode monsun barat. Arlindo menguat pada monsun timur dan melemah pada monsun barat, yang mempengaruhi karakteristik massa air di Laut Jawa [10]

2. Pengaruh Arlindo pada sifat fisis dan struktur Laut

Arus laut merupakan pergerakan massa air baik secara vertikal dan horizontal yang dipengaruhi oleh tiupan angin di permukaan laut maupun perbedaan densitas (kerapatan) air laut. Batimetri kompleks Indonesia berkontribusi pada stratifikasi massa air, dengan kolam air hangat yang diidentifikasi di Pasifik barat berdampak pada struktur termal perairan Indonesia [11]. Pengaruh arus Arlindo terhadap kondisi oseanografi meliputi perubahan salinitas dan suhu permukaan laut. Secara khusus, daerah seperti Selat Makassar mengalami variasi suhu musiman karena dinamika aliran Arlindo, yang dapat menyebabkan peningkatan suhu muka laut pada periode tertentu [11], [12]. Terhadap sifat fisis laut yaitu salinitas, maka Arlindo cenderung menurunkan salinitas di Samudra Hindia, dan sebagian besar air Arlindo akhirnya mengalir keluar dari Samudra Hindia melalui arus Agulhas [13]. Massa air Pasifik yang dibawa Arlindo umumnya memiliki salinitas yang lebih rendah dibandingkan massa air Samudra Hindia. Pertemuan massa air ini menciptakan gradien salinitas di sepanjang jalur Arlindo [14]. Salinitas di Samudra Hindia dipengaruhi oleh anomali salinitas yang diinduksi oleh fluks air tawar permukaan di wilayah perairan Indonesia yang terkait dengan peristiwa ENSO [13].

Keberadaan Arlindo yang mengalir melalui Selat Makassar untuk menuju ke Samudra Hindia akan memberikan penguatan pada *Barrier Layer* di Laut Sulawesi. Arlindo yang mengalir melalui Selat Makassar membawa massa air Pasifik yang lebih tawar dan hangat ke Laut Sulawesi [10]. Fenomena ini berkontribusi pada terbentuknya lapisan *barrier layer* yang tebal di Laut Sulawesi. Lapisan penyangga (*barrier layer*) merupakan suatu lapisan yang berfungsi untuk menjaga kestabilan antara lapisan bawah dan lapisan atas dan tidak semua perairan memiliki lapisan ini. Lapisan ini berada antara lapisan *Mixed Layer Depth* (MLD) dan lapisan *Isothermal Layer Depth* (ILD). Ketebalan dan posisi dari lapisan penyangga ini selalu bervariasi terhadap ruang dan waktu. *Barrier layer* ini berupa lapisan air dengan salinitas rendah yang "mengunci" perpindahan panas dari lapisan atas ke lapisan bawah. Keberadaan *barrier layer* ini dapat memperkuat stratifikasi kolom air dan menghambat perpindahan panas dari permukaan ke lapisan di bawahnya.

Perbedaan suhu dan salinitas yang dibawa Arlindo menyebabkan terjadinya stratifikasi laut. Stratifikasi adalah lapisan-lapisan air laut dengan karakteristik suhu dan salinitas yang berbeda. Arlindo dapat memperkuat atau melemahkan stratifikasi tergantung pada kekuatan arusnya dan kondisi musiman [10]. Pada saat musim barat, Arlindo membawa massa air yang lebih hangat dari Samudra Pasifik dibandingkan pada saat musim tenggara, untuk salinitas, pada saat monsun timur, salinitas di Laut Jawa lebih tinggi (31-34 psu) dibandingkan dengan saat monsun barat (29,5-33 psu), dan suhu

permukaan laut lebih rendah pada monsun timur (27-30,5°C) dibandingkan dengan monsun barat (28,5 - 30,5°C) [15].

Masuknya arus laut dari Samudra Pasifik, Arlindo dapat mempengaruhi kedalaman termoklin, yaitu lapisan transisi antara air permukaan yang hangat dan air laut dalam yang dingin [10]. Perubahan kedalaman termoklin ini mempengaruhi aliran dan suhu air yang memasuki Samudra Hindia melalui Arlindo, karena arus sensitif terhadap perubahan ketinggian termoklin [16]. Selain itu perubahan ketinggian permukaan laut selama peristiwa ini menunjukkan bagaimana variasi SST mempengaruhi tekanan permukaan dan aliran arus, yang selanjutnya mempengaruhi dinamika keseluruhan El Niño [17]. Di perairan selatan Jawa hingga pulau Timor selama El Niño, ambang atas termoklin jauh lebih dangkal, rata-rata antara 50,9 m dan 51,7 m, dibandingkan dengan ambang batas yang lebih dalam yang diamati selama La Niña, yang berkisar dari 58,4 m hingga 60,2 m [18]. Variasi kekuatan Arlindo dapat menyebabkan termoklin menjadi lebih dalam atau dangkal, yang pada gilirannya mempengaruhi distribusi suhu di laut. Hubungan antara lapisan termoklin selama peristiwa El Niño dan *Indonesian Throughflow* (Arlindo) penting dalam memahami dinamika iklim regional.

Kedalaman dan stabilitas termoklin dipengaruhi oleh karakteristik Arlindo, dan Arlindo ini juga memainkan peran penting dalam perkembangan peristiwa El Niño. Dengan demikian, interaksi antara Arlindo dan faktor-faktor Samudra ini merupakan bagian integral untuk memahami fenomena El Niño. Selain pada lapisan termoklin, di beberapa wilayah, Arlindo dapat meningkatkan *mixing* atau pencampuran massa air di lapisan permukaan laut [19]. Hal ini terjadi karena Arlindo membawa massa air dengan karakteristik yang berbeda (suhu, salinitas) dan menciptakan turbulensi di laut. Arus yang kuat dapat memperdalam termoklin karena massa air hangat yang lebih ringan terdorong ke arah barat. Sebaliknya, Arlindo yang lemah dapat menyebabkan termoklin menjadi lebih dangkal karena *mixing* vertikal yang lebih dominan [10]. *Mixing* yang kuat dapat mengaburkan stratifikasi kolom air dan mempengaruhi distribusi nutrient.

Secara umum, Arlindo memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik lapisan laut di Indonesia, seperti kedalaman termoklin, intensitas *mixing*, pembentukan *barrier layer*, serta terjadinya *upwelling* di beberapa lokasi. Lapisan-lapisan ini memiliki perbedaan suhu, salinitas, dan densitas yang signifikan, yang selanjutnya berpengaruh pada kondisi iklim dan dinamika cuaca di Indonesia. Sehingga dari sini dinamika Arlindo menjadi salah satu faktor penting yang perlu dipahami untuk mengkaji karakteristik dan proses fisik perairan laut di Indonesia [20][21].

3. Arlindo Memicu Upwelling di Perairan

Pengaruh dari arus lintas Indonesia (Arlindo) terhadap fenomena *upwelling* adalah bahwa arus ini mengikuti pola kedalaman topografi dan mempengaruhi distribusi aliran di wilayah tersebut [22]. Meskipun tidak terjadi di semua wilayah, Arlindo dapat memicu proses *upwelling* di beberapa perairan Indonesia [19]. *Upwelling* membawa massa air yang kaya nutrien dari dasar laut ke permukaan, yang berperan penting bagi produktivitas primer dan ekosistem laut [20][21]. Sebagai contoh, di Perairan Laut Banda, pergerakan air dalam Arlindo dari Laut Jawa dan Selat Makassar terdorong ke arah Laut Banda, yang dapat memicu proses *upwelling* [20]. Selain itu, angin ini juga berkontribusi pada fenomena *upwelling* yang terjadi di daerah tersebut, yang menunjukkan bahwa angin memiliki peran penting dalam mengatur arus permukaan di arus lintas Indonesia [22].

4. Pengaruh Arlindo terhadap Arus Laut dan distribusi nutrien

Pengaruh Arlindo terhadap Arus Laut bisa dilihat dari kemunculan Arlindo dengan tingginya kecepatan arus laut di selat-selat perairan Indonesia. Arus yang kuat di selat-selat tersebut tidak hanya disebabkan oleh Arlindo, tetapi juga dipengaruhi oleh geometri wilayah, siklus pasang surut, serta pola

angin monsoon. Berdasarkan pengukuran di selat-selat perairan Indonesia, kecepatan arus laut rata-rata umumnya kurang dari 1,5 m/detik, namun bisa mencapai lebih dari 3 m/detik pada saat kecepatan maksimum [21].

Variasi Arlindo yang dipengaruhi oleh angin muson dapat menyebabkan variasi distribusi suhu dan salinitas laut yang selanjutnya mempengaruhi pasokan nutrisi dari dasar laut ke permukaan. Pencampuran massa air yang terjadi ini akan mempengaruhi distribusi nutrisi, persebaran panas air laut yang mengalir sehingga akan berimbas pada keadaan iklim wilayah tersebut. Arlindo juga menunjukkan jalur baru yang menghubungkan aliran air dari Samudra Pasifik ke Samudra Hindia, yang dapat mempengaruhi variabilitas iklim melalui interaksi air-laut [5]. Variabilitas Arlindo dapat mempengaruhi struktur laut yang vital, seperti terumbu karang dan perikanan, yang penting untuk keanekaragaman hayati dan pengelolaan sumber daya di wilayah tersebut. Saat arus hangat dari Samudra Pasifik mengalir melalui wilayah tersebut, mereka tidak hanya mengubah suhu permukaan tetapi juga dapat mempengaruhi distribusi nutrisi, berdampak pada populasi ikan dan kehidupan laut lainnya yang bergantung pada rentang suhu tertentu untuk berkembang biak dan mencari makan [23].

5. Pengaruh Arlindo terhadap Dinamika Iklim

Arus Lintas Indonesia merupakan komponen penting dalam sirkulasi termohalin global, yang bertanggung jawab atas perpindahan panas dan air antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia [2]. Sistem arus ini memainkan peran penting dalam membentuk dinamika iklim regional di sekitar Benua Maritim Indonesia. Variabilitas Arus Lintas Indonesia dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain sistem monsun, ENSO, Dipole Samudra Hindia dan *Madden-Julian Oscillation*. Kekuatan dan arah Arus Lintas Indonesia dapat mempengaruhi anggaran panas dan air tawar regional, yang pada gilirannya mempengaruhi distribusi curah hujan, suhu, dan parameter iklim lainnya di wilayah sekitarnya. Sistem arus ini memainkan peran penting dalam membentuk dinamika iklim regional di sekitar Benua Maritim Indonesia.

Arlindo, atau Aliran air laut melalui Indonesia, secara signifikan mempengaruhi dinamika atmosfer, terutama melalui variasi musimannya. Pengaruh angin terhadap arus permukaan di arus lintas Indonesia (Arlindo) dapat dilihat dari bagaimana angin muson tenggara mempengaruhi dinamika permukaan. Angin muson tenggara menyebabkan pembentukan dinamika lapisan permukaan yang dikenal sebagai dinamika *Ekman* yang mencakup transportasi massa air dan kecepatan arus permukaan yang dipengaruhi oleh perubahan arah angin [22].

Arlindo berkontribusi pada dinamika hidrodinamika, terutama selama periode muson tenggara, di mana kecepatan arus permukaan dipengaruhi oleh perubahan arah angin. Selama Monsun Tenggara (Juni hingga September), Arlindo menunjukkan vektor arus yang lebih kuat, yang menyebabkan peningkatan transportasi air dibandingkan dengan Monsun Barat Laut (Desember hingga Februari) [19]. Variabilitas musiman ini mempengaruhi distribusi massa air hangat, yang pada gilirannya mempengaruhi pola cuaca lokal dan kondisi Samudra. Periode transisi juga menunjukkan perubahan kekuatan dengan pelemahan yang mencolok selama musim transisi kedua (September hingga November) karena pergeseran arah angin [19]. Selain itu, angin ini juga berkontribusi pada fenomena *upwelling* yang terjadi di daerah tersebut, yang menunjukkan bahwa angin memiliki peran penting dalam mengatur arus permukaan di arus lintas Indonesia [22].

Fenomena iklim global seperti aktifnya ENSO merupakan gangguan dari sistem atmosfer yang terjadi di Samudra pasifik tengah dan wilayah bagian barat dekat Indonesia. Kejadian aktifnya ENSO tidak hanya sekedar adanya perbedaan suhu muka laut antara dua wilayah ENSO tetapi juga melibatkan aliran massa udara yang notabene dipengaruhi oleh keadaan dari sistem fisis pada lautan tersebut. Hubungan antara Arlindo (*Indonesian Through Flow*) dan keaktifan El Niño di Indonesia menunjukkan

bahwa Arlindo lebih kuat selama La Niña dan lebih lemah selama El Niño, dengan amplitudo perbedaan mencapai 5 Sv. Variabilitas transportasi Arlindo juga dipengaruhi oleh sinyal ENSO, di mana selama El Niño, terdapat variasi dalam struktur termal laut atas yang mempengaruhi variabilitas ENSO [24]. Transport massa air Arlindo berpengaruh terhadap sistem kopel atmosfer-lautan di Samudra Pasifik yang berimplikasi terhadap ENSO. Selama peristiwa El Niño, khususnya pada tahun 1997/1998, kekuatan arus di Laut Jawa meningkat 1 – 3 m/s, yang mengubah pola aliran dan mempengaruhi interaksi laut-atmosfer. Arlindo mengangkut air termoklin tropis yang lebih hangat dari Pasifik ke Samudra Hindia, yang didorong oleh gradien tekanan antar lautan. Transportasi ini sangat penting karena memodifikasi SST, dengan pemanasan signifikan yang diamati di Pasifik tengah selama El Niño, yang menyebabkan pembalikan arus dari laut Indonesia [17].

Pengaruh Arlindo terhadap ENSO juga dapat dilihat dari bagaimana variabilitas salinitas di Samudra Hindia, khususnya di wilayah tenggara, dipengaruhi oleh siklus ENSO. Salinitas anomali yang terkait dengan perubahan curah hujan akibat ENSO di perairan Indonesia ditemukan dapat menyebar sepanjang jalur utama Arlindo dan menyebabkan variabilitas interannual salinitas di wilayah aliran keluar Arlindo di Samudra Hindia bagian timur [13]

Dalam penelitian [25] menyebutkan bahwa peristiwa IOD negatif menyebabkan pengangkutan Arlindo berkurang, di mana kondisi ini terjadi pada musim panas dan musim gugur 2016, yang mengakibatkan pengurangan pengangkutan Arlindo sebesar 25–40% sedangkan pada peristiwa IOD positif berhubungan dengan peningkatan pengangkutan Arlindo, di mana suhu permukaan laut di bagian tenggara Samudra Hindia lebih dingin dan gradien tekanan menjadi lebih kuat, sehingga meningkatkan pengangkutan Arlindo.

Indeks MJO (*Madden-Julian Oscillation*) mempengaruhi Arlindo melalui variasi angin yang mana selama fase aktif MJO, terjadi perubahan arah angin yang dapat mengurangi kekuatan transportasi Arlindo. Pengurangan transportasi Arlindo maksimum transportasi yang pertama kali terjadi di Selat Sunda, diikuti oleh Selat Lombok dan Sape, dan kemudian di Selat Makassar dan Ombai [26]. Pengaruh cuaca yang terjadi selama fase aktif MJO termasuk adanya angin barat yang kuat di dekat ekuator, yang menyebabkan arus timur di sepanjang ekuator dan peningkatan tinggi permukaan laut di batas timur. Hal ini berkontribusi pada propagasi arus sepanjang pantai Sumatra dan Jawa, yang mempengaruhi transportasi Arlindo [26].

Variabilitas Arus Lintas Indonesia dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk sistem monsun, ENSO, Dipole Samudra Hindia dan keberadaan MJO. Kekuatan dan arah arus pasat Indonesia dapat mempengaruhi anggaran panas dan air tawar regional, yang pada gilirannya mempengaruhi distribusi curah hujan, suhu, dan parameter iklim lainnya di daerah sekitarnya. Dampak Arlindo terhadap kondisi iklim di Indonesia sangat signifikan, karena mempengaruhi pola curah hujan dan variasi suhu di seluruh nusantara. Perubahan yang dibawa oleh Arlindo dapat menyebabkan peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem, yang mempengaruhi pertanian dan sumber daya air.

CONCLUSION

Berdasarkan hasil literature review diketahui bahwa Arlindo terjadi karena adanya perbedaan densitas dan tekanan antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Arlindo merupakan aliran massa air hangat yang mengalir dari Samudra Pasifik menuju ke Samudra Hindia dan keberadaannya cenderung akan menurunkan salinitas di Samudra Hindia. Peningkatan suhu di sepanjang jalur Arlindo dan perbedaan distribusi salinitas akan memperdalam lapisan termoklin serta mendorong pembentukan *barrier layer*. Arus ini merupakan komponen penting dalam sistem iklim regional di Benua Maritim Indonesia, dengan pengaruhnya yang signifikan pada dinamika hidrodinamik, karakteristik sifat dan

struktur laut, distribusi nutrient laut dan pola cuaca yang terbentuk di perairan perlintasan Arlindo. Arlindo memainkan peran kunci dalam pembentukan dinamika iklim global dan regional di sekitar Benua Maritim Indonesia, melalui efeknya pada distribusi massa air hangat, transportasi panas, dan sirkulasi atmosfer-laut. Arlindo juga dipengaruhi oleh fenomena iklim musiman dan fenomena iklim seperti ENSO, IOD dan MJO yang dapat menyebabkan variabilitas transportasi air dan perubahan pola cuaca. Dengan demikian, interaksi antara Arlindo dan faktor-faktor Samudra ini merupakan bagian integral untuk memahami dinamika iklim regional di Benua Maritim Indonesia.

REFERENCES

- [1] M. F. Hutabarat, A. R. T. D. Kuswardani, N. P. Purba, and M. L. Syamsuddin, "Variabilitas Lapisan Termoklin Terhadap Kenaikan Mixed Layer Depth (Mld) Di Selat Makassar," *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, vol. 9, no. 1, pp. 9–21, 2018.
- [2] R. Firdaus, B. Purwanto, G. Harsono, and H. Setiyono, "Karakteristik Massa Air Lapisan Tercampur dan Lapisan Termoklin di Selat Lombok Pada Bulan November 2015," *Jurnal Hidrografi Indonesia*, vol. 4, pp. 41–50, 2022.
- [3] Arfiyan and Munasik, "Suhu Air Laut Tahunan di Perairan Pulau Genting, KarimunJawa," *Buletin Oseanografi Marina*, vol. 8, no. 1, pp. 60–63, 2016.
- [4] I. T. Yudianto, H. I. Nur, E. W. Ardhi, and B. P. Adhitya, "Model Evaluasi Trayek Kapal Tol Laut untuk Maluku dan Papua Bagian Selatan," *Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhanan*, vol. 10, no. 1, p. 1, Sep. 2020, doi: 10.30649/japk.v10i1.60.
- [5] S. Makarim *et al.*, "Previously Unidentified Indonesian Throughflow Pathways and Freshening in the Indian Ocean During Recent Decades," *Sci Rep*, vol. 9, no. 1, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-43841-z.
- [6] L. O. M. G. Giu, A. S. Atmadipoera, Y. Naulita, and D. Nugroho, "Struktur Vertikal dan Variabilitas Arlindo yang Masuk ke Tepi Barat Laut Banda," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, vol. 12, no. 2, pp. 457–472, Aug. 2020, doi: 10.29244/jitkt.v12i2.29142.
- [7] L. L. Silaban, A. S. Atmadipoera, M. T. Hartanto, and Herlisman, "Water Mass Characteristics in the Makassar Strait and Flores Sea in August-September 2015," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2021. doi: 10.1088/1755-1315/944/1/012054.
- [8] I. Gunawan *et al.*, "Studi Karakteristik Massa Air Laut di Perairan Timur Indonesia dengan Memanfaatkan Data Argo Float," *Jurnal Chart Datum*, vol. 5, no. 2, pp. 130–143, 2019.
- [9] T. Zhang, W. Wang, Q. Xie, and L. Chen, "Heat Contribution of the Indonesian Throughflow to the Indian Ocean," *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 38, no. 4, pp. 72–79, Apr. 2019, doi: 10.1007/s13131-019-1414-6.
- [10] A. S. Atmadipoera, D. Galang, and L. Mubaraq, "Struktur dan Variabilitas Arlindo di Laut Sulawesi Structure and Variability of Indonesian Throughflow at Sulawesi Sea," *Jurnal Kelautan Nasional*, vol. 11, pp. 159–174, 2016.
- [11] S. M. Horhoruw, A. S. Atmadipoera, M. Purba, and A. Purwandana, "Current Structure and Spatial Variation of Indonesian Throughflow in Makassar Strait Under Ewin 2013 (Struktur Arus dan Variasi Spasial Arlindo di Selat Makassar dari Ewin 2013)," *Indonesian Journal of Marine Sciences*, vol. 20, no. 2, p. 87, Jun. 2015, doi: 10.14710/ik.ijms.20.2.87-100.
- [12] A. Y. Yuliardi, L. M. Prayogo, and M. I. Joesidawati, "Dinamika Distribusi Spasial-Vertikal Massa Air di Jalur Barat dan Timur Arlindo pada Musim Barat," *Jurnal Miyang*, vol. 2, no. 2, pp. 38–46, 2022, [Online]. Available: <http://journal.unirow.ac.id/index.php/miyang>

- [13] S. Hu *et al.*, "Interannual To Decadal Variability of Upper-Ocean Salinity in the Southern Indian Ocean and the Role of the Indonesian Throughflow," *J Clim*, vol. 32, no. 19, pp. 6403–6421, Oct. 2019, doi: 10.1175/JCLI-D-19-0056.1.
- [14] S. I. Patty, D. Nurdiansah, and N. Akbar, "Sebaran Suhu, Salinitas, Kekeruhan dan Kecerahan di Perairan Laut Tumbak-Bentenan, Minahasa Tenggara," *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, vol. 3, no. 1, p. 87, 2020.
- [15] S. N. Siregar, L. P. Sari, N. P. Purba, W. S. Pranowo, and M. L. Syamsuddin, "Pertukaran Massa Air di Laut Jawa terhadap Periodisitas Monsun dan Arlindo pada Tahun 2015," *Depik*, vol. 6, no. 1, pp. 44–59, Mar. 2017, doi: 10.13170/depik.6.1.5523.
- [16] F. T. Gibbons, "The Centennial and Millennial Variability of the Indo-Pacific Warm Pool and the Indonesian Throughflow," Woods Hole Oceanographic Institution, Chicago, 2012.
- [17] L. M. C. Astiti, T. Osawa, and I. W. R. Aryanta, "Study on Variability Mechanism During 1997/1998 ENSO in Eastern Part of Indonesia Archipelago Using Satellite Data and In-Situ Data.," *ECOTROPIC*, vol. 1, no. 2, p. 1, 2006.
- [18] Kunarso, S. Hadi, N. Sari Ningsih, and dan S. Mulyono Baskoro, "Change of Thermocline Thickness and Depth on the Variation of ENSO and IOD Events in the Waters of the Southern Java to Timor Island," *Jurnal Ilmu Kelautan*, vol. 17, no. 2, pp. 87–98, 2012, [Online]. Available: www.esrl.noaa.gov/
- [19] A. S. Atmadipoera and P. Hasanah, "Characteristics and Variability of the Flores Itf and Its Coherence with the South Java Coastal Current," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, vol. 9, no. 2, pp. 537–556, Jan. 2018, doi: 10.29244/jitkt.v9i2.19289.
- [20] B. A. S. Uneputty, S. Tubalawony, and Y. A. Noya, "Klorofil-A dan Kaitannya terhadap Produktifitas Primer Perairan Laut Banda pada Fenomena La Nina," *NEKTON: Jurnal Perikanan dan Ilmu Kelautan*, vol. 2, no. 1, pp. 57–65, Mar. 2022, doi: 10.47767/nekton.v2i1.326.
- [21] A. Yuningsih and M. D. Saputra, "Assessment of Potential Marine Current Energy in The Straits of the Lesser Sunda Islands," *Bulletin of the Marine Geology*, vol. 36, no. 1, pp. 27–36, 2021.
- [22] F. G. Utama, A. S. Atmadipoera, M. Purba, E. H. Sudjono, and R. Zuraida, "Analysis of Upwelling Event in Southern Makassar Strait," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Feb. 2017. doi: 10.1088/1755-1315/54/1/012085.
- [23] A. N. , Setiawan, Y. Dhahiyat, and N. P. Purba, "Variasi Sebaran Suhu dan Klorofil-A Akibat Pengaruh Arlindo terhadap Distribusi Ikan Cakalang di Selat Lombok," *Depik*, vol. 2, no. 2, pp. 58–69, 2013, [Online]. Available: <http://las.pfeg.noaa.gov/>;
- [24] M. Feng, N. Zhang, Q. Liu, and S. Wijffels, "The Indonesian Throughflow, Its Variability and Centennial Change," *Geosci Lett*, vol. 5, no. 3, pp. 2–10, Dec. 2018, doi: 10.1186/s40562-018-0102-2.
- [25] K. Pujiana, M. J. McPhaden, A. L. Gordon, and A. M. Napitu, "Unprecedented Response of Indonesian Throughflow to Anomalous Indo-Pacific Climatic Forcing in 2016," *J Geophys Res Oceans*, vol. 124, no. 6, pp. 3737–3754, Jun. 2019, doi: 10.1029/2018JC014574.
- [26] M. C. N. Tamasiunas, T. Shinoda, D. Susanto, and L. Zamudio, "Intraseasonal Variability of the Indonesian Throughflow Associated with The Madden-1 Julian Oscillation," *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 193, 2021, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967064521000618>