

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lautan berperan sebagai pengatur utama sistem iklim bumi melalui kapasitasnya menyimpan dan mendistribusikan energi secara global. Suhu Permukaan Laut (*Sea Surface Temperature*, SST) dan Salinitas Permukaan Laut (*Sea Surface Salinity*, SSS) adalah dua variabel lapisan permukaan yang paling menentukan interaksi laut-atmosfer. SST mengontrol fluks panas yang dilepaskan ke atmosfer sehingga memengaruhi pembentukan awan, intensitas curah hujan, dan kekuatan sirkulasi atmosfer tropis, sedangkan SSS mencerminkan keseimbangan antara presipitasi, evaporasi, dan masukan air tawar dari daratan. Kombinasi SST dan SSS menentukan densitas air laut yang menggerakkan sirkulasi termohalin global, sehingga pemantauan jangka panjang kedua variabel ini menjadi dasar penting untuk memahami respons laut terhadap variabilitas iklim (Durack et al., 2012; Roemmich et al., 2015).

Indonesia menempati posisi sentral pada *Indo Pacific Warm Pool*, kawasan perairan paling hangat di bumi yang menjadi motor sirkulasi atmosfer tropis global. Dinamika oseanografi di perairan Indonesia dibentuk oleh interaksi tiga sistem yang berjalan bersamaan sistem monsun Asia-Australia yang mengatur pola angin musiman, Arus Lintas Indonesia (*Indonesian Throughflow*/ITF atau ARLINDO) yang mengalirkan massa air dari Samudra Pasifik ke Samudra Hindia melalui selat-selat di Indonesia timur (Gordon et al., 2010; Sprintall et al., 2014), serta El Niño Southern Oscillation (ENSO) yang memodulasi kondisi termohalin permukaan pada skala antartahunan (Lu et al., 2023). Wilayah Indonesia timur, termasuk Laut Arafura, secara konsisten dilaporkan lebih sensitif terhadap ENSO dibandingkan wilayah barat (Iskandar et al., 2020; Kida & Richards, 2009), sehingga kawasan ini menjadi lokasi yang relevan untuk mengkaji jejak ENSO pada parameter

Laut Arafura yang terletak di antara pantai selatan Papua dan pantai utara Australia, pada koordinat 130°BT–140°BT dan 10°LS–3°LS, merupakan kawasan yang secara oseanografis unik dan belum cukup mendapat perhatian dalam kajian ilmiah. Sebagai salah satu landas kontinen terluas di kawasan tropis, kedalaman rata-rata Laut Arafura yang hanya berkisar antara 50 hingga 80 meter menjadikannya sangat sensitif terhadap perubahan kondisi atmosfer. Studi-studi terdahulu menunjukkan bahwa pola musiman SST Laut Arafura dikendalikan secara kuat oleh pergantian monsun barat laut dan tenggara, dengan SST tertinggi

pada musim barat (DJF) dan terendah pada musim timur (JJA), sementara SSS menunjukkan pola yang berbeda karena lebih dipengaruhi oleh neraca P-E dan masukan air tawar dari daratan (Ismail et al., 2023; G. F. Rachman et al., 2023; H. A. Rachman et al., 2024)

Kajian-kajian SST dan SSS di perairan Indonesia umumnya bersandar pada satu jenis data tunggal baik produk satelit, reanalisis, maupun model yang masing-masing memiliki keterbatasan data *in situ* seperti Argo akurat namun jarang secara spasial di paparan dangkal seperti Arafura, data satelit memiliki cakupan luas namun rawan kontaminasi awan dan terbatas pada lapisan permukaan, sedangkan produk reanalisis lengkap secara ruang waktu namun membawa bias sistematis yang bergantung pada skema asimilasi data masing-masing (M. Wang et al., 2023). Pendekatan *multi-source ensemble* yang menggabungkan beberapa produk dengan koreksi bias dan validasi independen terhadap data Argo menjadi salah satu cara untuk mengurangi keterbatasan tersebut, karena kombinasi beberapa produk pada umumnya memberikan estimasi yang lebih stabil dibandingkan produk tunggal manapun (Hagedorn et al., 2005; Wong et al., 2020). Berdasarkan penelitian terdahulu penelitian ini disusun, dengan tujuan membangun dataset ensemble SST dan SSS yang dikoreksi bias dan divalidasi terhadap Argo Float, kemudian menggunakannya untuk mengkarakterisasi variabilitas spasial-temporal SST dan SSS Laut Arafura serta kaitannya dengan empat episode ENSO utama pada periode Januari 2010-Desember 2024.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, penelitian ini merumuskan tiga permasalahan utama:

1. Bagaimana karakteristik spasial dan temporal SST dan SSS di Laut Arafura selama periode Januari 2010 hingga Desember 2024?
2. Bagaimana hubungan antara variabilitas ENSO yang direpresentasikan oleh *Oceanic Niño Index* (ONI) dengan anomali SST dan SSS di Laut Arafura, baik pada skala klasifikasi fase bulanan maupun pada skala *event* ENSO yang teridentifikasi selama periode kajian?
3. Bagaimana performa komparatif produk reanalisis oseanografi tunggal (GLORYS12v1, MULTIOBS, OSTIA, dan ORAS5, dengan ECCO v4r4 sebagai pembanding awal) dan ensemble bias-corrected berbobot CLSW

dalam merepresentasikan kondisi permukaan laut Laut Arafura, bila divalidasi terhadap data observasi Argo Float?

1.3 Tujuan Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah di atas, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengevaluasi performa produk data oseanografi tunggal (GLORYS, MULTIOBS, OSTIA, ORAS5) dan ensemble bias-corrected CLSW terhadap data observasi independen Argo Float menggunakan metrik Bias, RMSE, MAE, korelasi Pearson, rasio standar deviasi, dan diagram Taylor.
2. Menganalisis karakteristik spasial dan temporal SST dan SSS di Laut Arafura selama periode 2010-2024, meliputi klimatologi bulanan, variabilitas musiman, tren jangka panjang, serta distribusi spasialnya.
3. Menganalisis hubungan antara ENSO dan variasi SST serta SSS di Laut Arafura berdasarkan indeks ONI, melalui analisis anomali, korelasi (Pearson/Spearman), analisis *lag correlation*, komposit fase ENSO, serta kajian per *event* untuk empat episode ENSO utama (La Niña 2010-2012, *Super El Niño* 2015-2016, *Triple-dip* La Niña 2020-2023, dan El Niño 2023-2024).

1.4 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini menyajikan kajian komparatif performa empat produk reanalisis oseanografi (GLORYS, MULTIOBS, OSTIA, ORAS5) serta penerapan *Constrained Least Squares Weighting* (CLSW) sebagai metode pembentukan ensemble bias-corrected yang teruji terhadap data Argo, sehingga dapat menjadi acuan metodologis bagi kajian serupa di perairan dangkal Indonesia lainnya.
2. Penelitian ini memberikan kontribusi pada pemahaman dinamika SST dan SSS di Laut Arafura serta keterkaitannya dengan ENSO, sehingga memperkaya literatur mengenai respons laut paparan dangkal tropis terhadap variabilitas atmosfer skala besar.
3. Hasil penelitian dapat mendukung pemantauan klimatologi laut berbasis observasi jangka panjang di wilayah perairan Indonesia timur dan memperkuat integrasi antara data satelit, model numerik, dan observasi *in situ* untuk kajian oseanografi yang lebih representatif secara spasial dan temporal.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, ruang lingkup penelitian dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada wilayah Laut Arafura dengan domain koordinat 130,0°BT-140,0°BT dan 10,0°LS-3,0°LS, dengan periode analisis Januari 2010 hingga Desember 2024.
2. Variabel utama yang dikaji adalah SST dan SSS pada lapisan permukaan laut penelitian ini tidak mengkaji struktur vertikal kolom air secara rinci.
3. Fenomena ENSO dianalisis menggunakan Oceanic Niño Index (ONI) dari NOAA Climate Prediction Center, dengan klasifikasi fase El Niño, La Niña, dan Netral berdasarkan ambang nilai ONI $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, serta identifikasi *event* ENSO resmi menggunakan pendekatan teknis sebagai proksi kriteria NOAA .
4. Data oseanografi yang digunakan dalam pembentukan ensemble final dibatasi pada produk GLORYS12v1 (SST, SSS), MULTIOBS (SST, SSS), OSTIA (SST saja, karena tidak menyediakan SSS), dan ORAS5 (SSS). ECCO v4r4 digunakan sebagai pembandingan awal pada tahap validasi dataset tunggal namun tidak diikutsertakan dalam ensemble final karena (a) cakupan temporalnya hanya 2010-2017, tidak mencakup seluruh periode kajian, dan (b) performa validasinya terhadap Argo pada periode tumpang-tindih tidak sekuat keempat produk lain. Data Argo Float digunakan sebagai data observasi pembandingan untuk seluruh tahap validasi.
5. Analisis hubungan ENSO, SST, dan SSS dilakukan melalui pendekatan statistik dan interpretasi oseanografis deskriptif penelitian ini tidak dimaksudkan sebagai pemodelan sebab-akibat penuh (*causal modelling*) dan tidak membahas aspek biologi laut, kimia oseanografi, perikanan, maupun sosial-ekonomi.