

Analisis Variasi Musiman Suhu, Salinitas, dan Arus Permukaan di Perairan Madura

Amir Yarkhasy Yuliardi^{1*}, Herlambang Aulia Rachman², Ratna Juita Sari¹, Diah Ayu Rahmalia¹,
Agung Tri Nugroho¹ dan Luhur Moekti Prayogo³

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Soeparno no.61, Purwokerto, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53122, Indonesia

²Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura
Jl. Raya Telang, Kec. Kamal, Kabupaten Bangkalan, Jawa Timur 69162, Indonesia

³Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas PGRI Ronggolawe
Jl. Manunggal No.61, Kec. Semanding, Kabupaten Tuban, Jawa Timur 62391, Indonesia

Email: amiryarkhasy@gmail.com

Abstrak

Perairan sekitar Pulau Madura mencakup Laut Jawa di utara dan perairan selatan yang berbatasan dengan Pulau Jawa merupakan wilayah dengan dinamika oseanografis kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi musiman *Sea Surface Temperature* (SST), *Sea Surface Salinity* (SSS), dan arus permukaan dan mengidentifikasi pengaruh monsun dan debit sungai terhadap kondisi oseanografis selama periode 2 tahun (2019-2020). Data debit sungai diperoleh dari *Seasonal Reforecasts of River Discharge* dari *Global Flood Awareness System*, sementara data parameter fisis laut diperoleh dari *Global Ocean Physics Reanalysis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah pesisir yang berbatasan dengan Laut Jawa dan perairan di selatan Pulau Madura dipengaruhi secara signifikan oleh debit sungai dan siklus musiman monsun. Debit sungai yang tinggi selama musim hujan menyebabkan penurunan salinitas di perairan khususnya di selatan Madura. SST meningkat pada musim barat dan menurun pada musim timur. Perairan selatan Madura cenderung lebih stabil dengan pola arus yang dipengaruhi oleh kondisi geografis yang lebih tertutup. Pola arus di Laut Jawa berbalik arah setiap musim, sedangkan arus di selatan Madura cenderung konstan sepanjang tahun. Penelitian ini mengungkap perbedaan dinamika oseanografis antara perairan utara dan selatan Pulau Madura, serta pentingnya interaksi antara monsun dan debit sungai dalam membentuk kondisi lingkungan laut di wilayah ini.

Kata kunci: Arus Permukaan, Monsun, Pulau Madura, *Sea Surface Salinity*, *Sea Surface Temperature*

Abstract

Analysis of Seasonal Variations of Temperature, Salinity, and Surface Currents in Madura Waters

The waters around Madura Island include the Java Sea in the north and the southern waters bordering Java Island, which are areas with complex oceanographic dynamics. This study aims to analyze seasonal variations in *Sea Surface Temperature* (SST), *Sea Surface Salinity* (SSS), and surface currents and identify the influence of monsoons and river discharge on oceanographic conditions over a two-year period (2019-2020). River discharge data were obtained from *Seasonal Reforecasts of River Discharge* from the *Global Flood Awareness System*, while ocean physical parameter data were obtained from the *Global Ocean Physics Reanalysis*. The results of the study indicate that coastal areas bordering the Java Sea and the waters south of Madura Island are significantly influenced by river discharge and the seasonal cycle of the monsoon. High river discharge during the rainy season causes a decrease in salinity in the waters, especially in southern Madura. Sea surface temperatures increase in the west season and decrease in the east season. The waters south of Madura tend to be more stable with current patterns influenced by more closed geographic conditions. The current pattern in the Java Sea reverses direction every season, while the current in southern Madura tends to be constant throughout the year. This study reveals the differences in oceanographic dynamics between the northern and southern waters of Madura Island, as well as the importance of the interaction between monsoons and river discharge in shaping marine environmental conditions in this region.

Keywords: Surface Current, Monsoon, Madura Island, *Sea Surface Salinity*, *Sea Surface Temperature*

PENDAHULUAN

Perairan Indonesia merupakan salah satu wilayah maritim yang paling dinamis di dunia, dipengaruhi oleh berbagai faktor oseanografis seperti arus lintas Indonesia (ARLINDO), monsun, dan siklus hidrologi yang

kompleks (Aldrian & Susanto, 2003; Feng *et al.*, 2018; Yamanaka *et al.*, 2018; Purba *et al.*, 2021). Laut Jawa terletak di utara Pulau Jawa dan Pulau Kalimantan merupakan bagian dari perairan dangkal yang memiliki dinamika tersendiri, terutama dalam hal fluktuasi suhu dan salinitas yang dipengaruhi oleh aliran air tawar dari sungai-sungai besar di Pulau Jawa serta fenomena musiman seperti monsun (Van Vliet *et al.*, 2013; Jeppesen *et al.*, 2015). Fenomena monsun yang mempengaruhi seluruh wilayah maritim Indonesia memiliki dampak yang signifikan terhadap arus laut, SST, dan SSS (Bahiyah *et al.*, 2019; Purba *et al.*, 2021; Kunarso *et al.*, 2023). Selama monsun barat, angin dari barat laut mendorong pergerakan arus permukaan ke timur di Laut Jawa, menyebabkan peningkatan SST dan fluktuasi salinitas akibat pengaruh aliran air tawar dari sungai-sungai besar (Purba *et al.*, 2021). Sebaliknya, pada musim timur, angin tenggara menyebabkan arus permukaan berbalik arah ke barat, mendorong masuknya air permukaan dari Samudera Hindia yang lebih dingin ke perairan selatan Pulau Madura, menciptakan perbedaan mencolok dalam kondisi oseanografis antara dua wilayah ini (Tozuka *et al.*, 2009).

Perubahan kondisi oseanografis ini sangat penting karena berdampak langsung terhadap ekosistem laut dan pesisir di kawasan tersebut, termasuk produktivitas perikanan, distribusi spesies laut, serta proses sedimentasi dan nutrisi. Pengaruh debit sungai yang signifikan meningkatkan kompleksitas kondisi oseanografis karena masuknya volume besar air tawar yang menyebabkan penurunan salinitas dan perubahan struktur termohalin (Möller *et al.*, 2008). Meskipun banyak penelitian telah dilakukan untuk memahami dinamika oseanografis di Laut Jawa dan perairan selatan Indonesia, studi yang mendalami variasi spasial dan temporal antara kedua kawasan ini, khususnya di sekitar Pulau Madura, masih terbatas. Beberapa studi telah menyoroti pentingnya pemahaman terhadap pola arus, SST, dan SSS yang dipengaruhi oleh monsun dan aliran sungai di Laut Jawa (Siswanto & Nugraha, 2014; Trinugroho *et al.*, 2019; Prayogo, 2021; Dumatubun *et al.*, 2024). Namun, masih ada gap dalam literatur terkait perbandingan terperinci antara kondisi di Laut Jawa dan perairan selatan Madura, serta bagaimana variabilitas musiman ini berdampak pada ekosistem lokal dan dinamika perairan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif variasi SST, SSS, dan pola arus permukaan di perairan sekitar Pulau Madura, dengan fokus pada perbandingan antara Laut Jawa di utara Madura dan perairan selatan Madura. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh monsun dan debit sungai terhadap variabilitas musiman di kedua wilayah ini. Penelitian oleh Fang *et al.* (2010) dan Tozuka *et al.* (2009) menunjukkan bagaimana monsun mempengaruhi pola arus dan suhu permukaan di Laut Jawa, yang terkait dengan fenomena musiman. Penelitian Sandeep *et al.* (2018) juga menekankan dampak debit sungai terhadap salinitas terutama selama musim hujan ketika debit sungai meningkat. Meskipun demikian, studi ini belum secara detail membahas perbandingan langsung antara Laut Jawa dan perairan selatan Madura, terutama dalam konteks variabilitas musiman yang lebih luas. Meskipun beberapa studi telah dilakukan terkait arus permukaan, SST, dan SSS di perairan Indonesia, belum ada penelitian yang secara spesifik membandingkan kondisi oseanografis di utara dan selatan Pulau Madura dalam satu kerangka studi. Penelitian ini mencoba mengisi celah tersebut dengan memberikan analisis terperinci terhadap variasi musiman antara Laut Jawa dan perairan selatan Madura yang lebih dangkal dan dipengaruhi oleh sungai. Penelitian ini juga akan memperkaya pemahaman tentang dampak interaksi antara monsun, debit sungai, dan arus lintas Indonesia terhadap ekosistem laut lokal di sekitar Pulau Madura.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di perairan sekitar Pulau Madura, yang terletak di antara Laut Jawa di bagian utara dan perairan selatan Pulau Madura yang berbatasan langsung dengan Pulau Jawa pada koordinat $6^{\circ} - 8^{\circ}$ LS dan $112^{\circ} - 115^{\circ}$ BT. Dua titik pengamatan utama dipilih untuk merepresentasikan dinamika perairan di utara dan selatan Pulau Madura yang mendapatkan dinamika lokal seperti monsun. Lokasi pertama (Loc 1) berada di perairan selatan Madura, sementara lokasi kedua (Loc 2) berada di Laut Jawa, yang dipengaruhi oleh aliran air tawar dari sungai-sungai besar di Jawa Timur (Gambar 1). Selain itu, titik pengamatan debit sungai dipilih di sekitar Surabaya untuk memonitor kontribusi air tawar yang masuk ke Perairan laut di selatan Pulau Madura dan yang masuk ke laut Jawa melalui selat Madura.

Materi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi debit sungai dan parameter fisis lautan seperti SST, SSS, dan arus permukaan dengan komponen *u* dan *v*. Pengumpulan data dilakukan selama periode dua tahun,

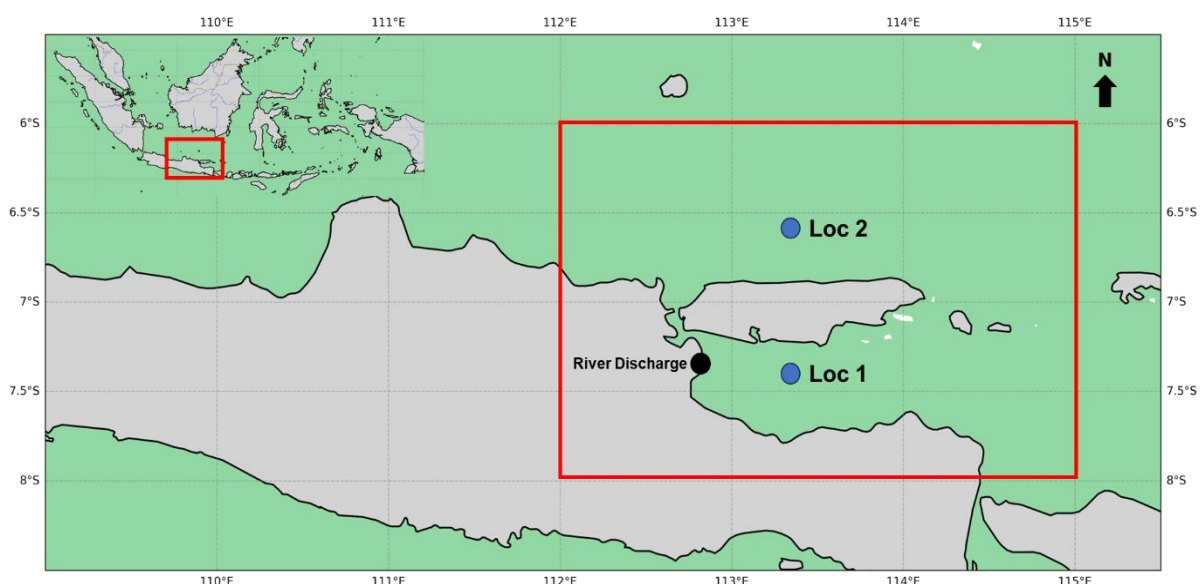
dari Januari 2019 hingga Desember 2020, dengan rata-rata bulanan dihitung untuk setiap parameter. Data debit sungai selama 2019 – 2020 diperoleh dari *Seasonal Reforecasts of River Discharge and Related Data* dari *Global Flood Awareness System (GloFAS)* dengan resolusi harian (Harrigan *et al.*, 2023; Prudhomme *et al.*, 2024) yang berada di muara sungai disebelah timur kota surabaya. GloFAS menyediakan data debit sungai yang direanalisis secara global, yang mencakup debit aliran air tawar dari sungai-sungai utama di wilayah Jawa Timur, termasuk yang bermuara ke timur Pulau Jawa di selatan Pulau Madura. Data debit sungai digunakan untuk memantau variasi musiman aliran air tawar, khususnya selama musim hujan dan kemarau. Data parameter fisis laut yang digunakan meliputi SST, SSS, dan arus permukaan. Data ini diperoleh dari *Global Ocean Physics Reanalysis* yang disediakan oleh *European Copernicus Marine Service* (Ciliberti *et al.*, 2021). *Global Ocean Physics Reanalysis* menyediakan data dengan resolusi spasial tinggi yang meliputi seluruh wilayah perairan Indonesia.

Metode Analisis Data

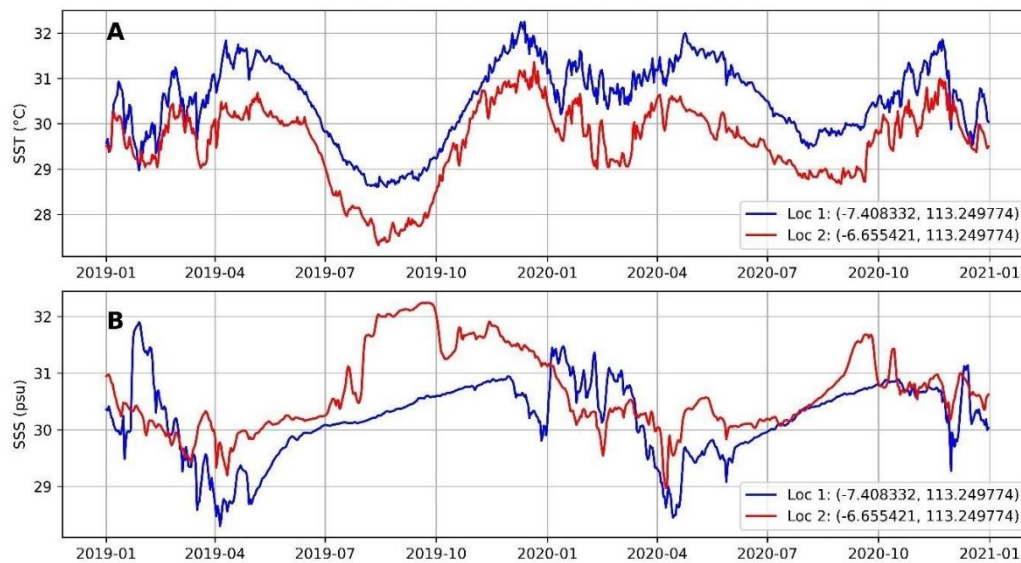
Data ini dianalisis untuk mengidentifikasi variabilitas suhu, salinitas, dan arus permukaan yang dipengaruhi oleh faktor musiman seperti monsun dan interaksi dengan debit sungai. Data debit sungai yang diperoleh dari GloFAS diolah untuk melihat variasi musiman debit air tawar yang masuk ke perairan laut. Debit sungai dibandingkan dengan parameter fisis di lokasi pengamatan untuk melihat pengaruh debit sungai terhadap salinitas dan SST. Data diambil di dua lokasi pengamatan, yaitu di Laut Jawa (Loc 2) dan di selatan Pulau Madura (Loc 1). Setiap parameter dihitung rata-rata bulanan selama dua tahun (2019-2020) untuk mengidentifikasi variasi musiman dan spasial, perata-rataan klimatologi berdasarkan Wirasatriya *et al.*, (2017):

$$\bar{X}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i(x, y, t)$$

Dimana rata-rata bulanan atau klimatologi bulanan pada posisi (x,y) dihitung sebagai rata-rata nilai ke-i pada posisi (x,y) pada waktu t tertentu. Hasil ini kemudian dibandingkan antara kedua lokasi untuk memahami perbedaan dinamika antara perairan utara dan selatan Madura. SST digunakan untuk menganalisis perubahan suhu musiman yang dipengaruhi oleh monsun, dan SSS dianalisis untuk melihat dampak debit sungai terhadap salinitas di Laut Jawa. Data arus permukaan diambil dari *Global Ocean Physics Reanalysis*.



Gambar 1. Lokasi penelitian berada disekitar Pulau Madura. Terdapat dua titik pengamatan yang berada berada diselatan Pulau Madura (titik biru Loc 1) dan berada dilaut Jawa pada utara Pulau Madura (titik biru Loc 2). Selain itu terdapat titik pengamatan debit sungai yang berada di timur surabaya (titik hitam).



Gambar 2. Data timeseries SST (A) dan SSS (B) pada lokasi 1 (garis biru) dan lokasi 2 (garis merah) selama dua tahun pengukuran

Data arus diolah untuk menghasilkan peta pola arus permukaan bulanan. Panah arus menggambarkan arah dan kecepatan arus di kedua lokasi, yang kemudian dianalisis untuk melihat bagaimana pola arus dipengaruhi oleh monsun. Setelah pengolahan data selesai, analisis dilakukan dengan membandingkan hasil dari kedua lokasi pengamatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data timeseries SST pada panel A dan SSS pada panel B selama dua tahun pengukuran (Gambar 2). Dua lokasi pengamatan yang diidentifikasi dalam Gambar 1 dianalisis dalam bentuk garis biru untuk Loc 1 dan garis merah untuk Loc 2. Pada panel A, data menunjukkan variasi musiman yang jelas dalam SST di kedua lokasi. Lokasi 1 (selatan Pulau Madura) memperlihatkan SST yang lebih stabil dibandingkan dengan Lokasi 2 (utara Pulau Madura), yang cenderung mengalami fluktuasi lebih besar. Loc 1 berada di perairan selatan Pulau Madura yang lebih tertutup secara geografis, sehingga lebih terlindung dari pengaruh langsung Laut Jawa maupun arus permukaan terbuka. Kondisi geografis yang tertutup ini mengurangi variasi suhu yang dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti angin monsun atau arus laut dari Laut Jawa. Sedangkan Loc 2, yang terletak di utara Pulau Madura dan berhadapan langsung dengan Laut Jawa, lebih terbuka terhadap pengaruh eksternal seperti monsun barat dan timur. Hal ini disebabkan oleh pengaruh langsung ARLINDO dari Selat Makassar dan Laut China Selatan serta terpengaruh oleh siklus musiman monsun (Gordon *et al.*, 2012; Atmadipoera *et al.*, 2022). Dalam analisis lebih lanjut, terlihat bahwa SST di kedua lokasi menunjukkan pola musiman yang dipengaruhi oleh musim barat dan timur. Pada musim barat (Desember hingga Februari), SST di Loc 2 meningkat karena pengaruh angin monsun barat yang membawa air dari daratan (Fang *et al.*, 2006; Fang *et al.*, 2011). Sementara pada musim timur (Juni hingga Agustus), suhu di Loc 2 menurun akibat pendinginan yang dipicu oleh angin monsun timur dari Australia. Fenomena ini mengindikasikan pengaruh siklus monsun terhadap perairan di utara Pulau Madura. Pada musim timur, aliran air tawar dari sungai-sungai besar di Jawa, yang biasanya membawa massa air yang lebih hangat, berkurang secara signifikan. Ini karena curah hujan menurun selama musim kemarau, sehingga volume air tawar yang mengalir dari daratan ke Laut Jawa juga menurun (Bahiyah *et al.*, 2019).

Pada panel B, SSS menunjukkan pola yang kontras antara dua lokasi. Lokasi 1 (selatan Pulau Madura) mengalami fluktuasi salinitas yang lebih rendah, yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh aliran air tawar dari sungai-sungai besar di Jawa Timur, khususnya saat musim hujan (Desember hingga Februari), ketika debit sungai meningkat (Palmer *et al.*, 2011). Lokasi 2 menunjukkan salinitas yang lebih tinggi dan lebih stabil, menandakan pengaruh dominan dari massa air Samudera yang memiliki salinitas tinggi (Lao *et al.*, 2022). Pengamatan menunjukkan bahwa debit sungai yang masuk ke Laut, khususnya dari titik pengamatan di timur

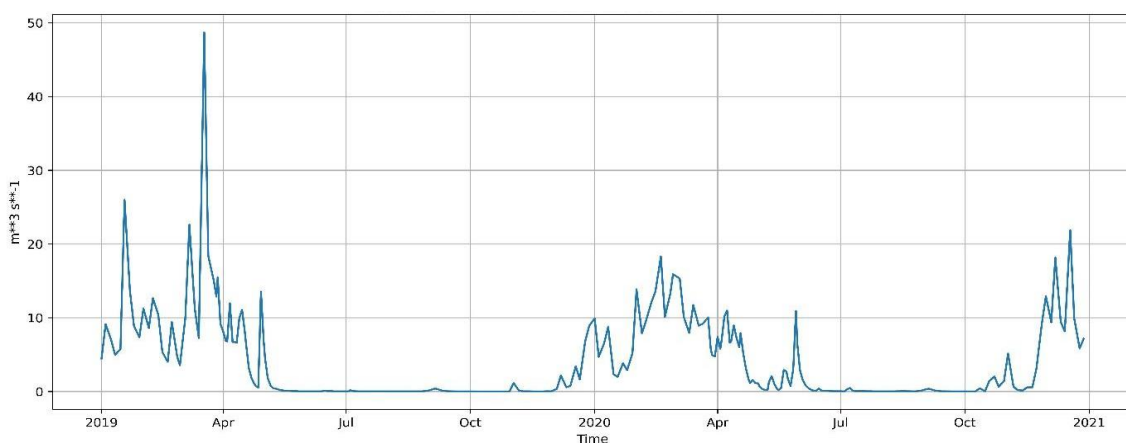
Surabaya, memiliki dampak besar pada fluktuasi salinitas di Loc 1. Peningkatan debit sungai selama musim hujan cenderung menurunkan salinitas secara signifikan di kawasan tersebut. Hal ini penting karena penurunan salinitas ini berpotensi mempengaruhi dinamika stratifikasi air, yang berdampak pada sirkulasi vertikal dan stabilitas kolom air di perairan tersebut (Maes & O'Kane, 2014)

Pada Loc 2 dipengaruhi lebih banyak oleh kondisi laut terbuka yang berhubungan dengan sirkulasi regional seperti Arlindo. Sementara itu, Loc 1 lebih terpengaruh oleh dinamika lokal seperti pengaruh monsun dan debit sungai dari Jawa Timur. Hal ini membuat kedua lokasi menjadi menarik untuk dianalisis karena mereka mewakili dua dinamika oseanografis yang berbeda secara signifikan, yang pada akhirnya mempengaruhi ekosistem perairan di sekitar Pulau Madura. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya seperti yang diungkapkan oleh Tozuka *et al.* (2009), yang menunjukkan bahwa SST dan SSS di wilayah Indonesia dipengaruhi secara signifikan oleh pola sirkulasi musiman dan debit sungai. Lebih lanjut, penelitian dari Purba *et al.* (2021) juga menunjukkan bahwa fluktuasi salinitas di Laut Jawa terkait erat dengan siklus debit sungai, terutama di musim hujan.

Gambar 3 menyajikan data timeseries debit sungai di titik pengamatan yang berada di timur Surabaya selama dua tahun pengukuran. Debit sungai diukur untuk memahami pengaruh aliran air tawar ke perairan di sekitar Pulau Madura. Grafik ini menunjukkan variasi debit sungai sepanjang tahun, dengan puncak aliran terjadi selama musim hujan dan penurunan debit selama musim kemarau. Grafik debit sungai menunjukkan pola musiman yang sangat jelas, di mana debit mencapai puncaknya selama musim hujan, yaitu dari sekitar Desember hingga Mei, dengan debit yang lebih rendah pada musim kemarau (Juni hingga November). Peningkatan debit selama musim hujan disebabkan oleh curah hujan yang lebih tinggi di daerah tangkapan air, yang berkontribusi pada peningkatan aliran air tawar ke laut (Gillson, 2011). Penurunan debit selama musim kemarau mencerminkan minimnya curah hujan dan pengurangan aliran air tawar dari daratan (Pervez & Henebry, 2015).

Debit sungai yang tinggi selama musim hujan memainkan peran penting dalam mempengaruhi salinitas perairan di perairan sekitar Pulau Madura. Seperti yang terlihat pada data timeseries SSS pada Gambar 2, peningkatan debit sungai secara langsung menurunkan salinitas di Laut Jawa akibat masuknya volume besar air tawar. Hal ini menyebabkan penurunan stratifikasi salinitas, yang dapat mempengaruhi dinamika termohalin di perairan ini (Elken *et al.*, 2015). Selama musim kemarau, debit sungai yang rendah berkontribusi pada stabilitas salinitas di Laut Jawa, yang lebih mendekati nilai yang lazim di perairan laut dangkal. Debit sungai juga berkorelasi erat dengan variasi SST. Air tawar yang dialirkan ke laut umumnya lebih hangat daripada air laut di sekitar, terutama selama musim hujan (Gibson *et al.*, 2002). Oleh karena itu, peningkatan debit sungai selama musim hujan dapat menyebabkan peningkatan suhu lokal pada SST di perairan yang dekat dengan muara sungai (Syvitski *et al.*, 2014).

Pola hidrologi sungai yang terekam pada grafik ini penting untuk dipahami dalam konteks pengelolaan wilayah pesisir. Peningkatan debit sungai selama musim hujan dapat menyebabkan banjir di wilayah pesisir, terutama jika kapasitas drainase tidak memadai (Marfai & King, 2008; Merz *et al.*, 2021). Selain itu, aliran sedimen dari sungai ke laut juga dapat mempengaruhi ekosistem pesisir, termasuk degradasi terumbu karang



Gambar 3. Data timeseries river discharge pada titik observasi selama dua tahun pengukuran

akibat sedimentasi. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang dinamika debit sungai sangat penting untuk upaya mitigasi dampak lingkungan di wilayah pesisir (Hoitink & Jay, 2016). Penelitian terkait dengan debit sungai dan dampaknya terhadap perairan pesisir, seperti yang dilakukan oleh Innocenti *et al.* (2023), menunjukkan bahwa siklus hidrologi sungai memainkan peran penting dalam dinamika ekosistem laut, terutama di kawasan pesisir yang dipengaruhi oleh interaksi laut-darat. Studi lain oleh Davis *et al.* (2015) juga menekankan pentingnya pemahaman tentang siklus debit sungai dalam pengelolaan sumber daya pesisir yang berkelanjutan, terutama dalam menghadapi variabilitas iklim dan perubahan penggunaan lahan di daerah tangkapan air.

Analisis Spasial

Pola klimatologi bulanan SST di sekitar Pulau Madura selama periode pengamatan ditunjukkan pada Gambar 4. Peta ini menunjukkan distribusi rata-rata bulanan SST untuk semua bulan, dengan skala warna yang menggambarkan variasi suhu di perairan sekitar Pulau Madura, baik di bagian utara (Laut Jawa) maupun di bagian selatan. Dari peta klimatologi ini, jelas terlihat adanya perbedaan di perairan utara dan selatan Pulau Madura. Kondisi ini dipengaruhi variasi musiman yang signifikan pada SST (Wang *et al.*, 2021). Selama bulan-bulan musim barat (Desember hingga februari), SST di Laut Jawa cenderung lebih tinggi berkisar 31 - 33°C, sejalan dengan hasil pada Gambar 2, di mana SST meningkat karena pengaruh angin monsun barat yang membawa massa air dari daratan. Sebaliknya, pada musim timur (Juni hingga Agustus), SST di perairan utara menurun, mencerminkan pendinginan yang dipicu oleh angin monsun dari Australia (Zhang & Moise, 2016). Berdasarkan hasil penelitian Imanullah *et al.*, (2019), SST yang rendah selama monsun timur dapat menyebabkan upwelling, dimana air dingin yang kaya nutrisi naik ke permukaan selama monsun timur dan meningkatkan konsentrasi klorofil-a.

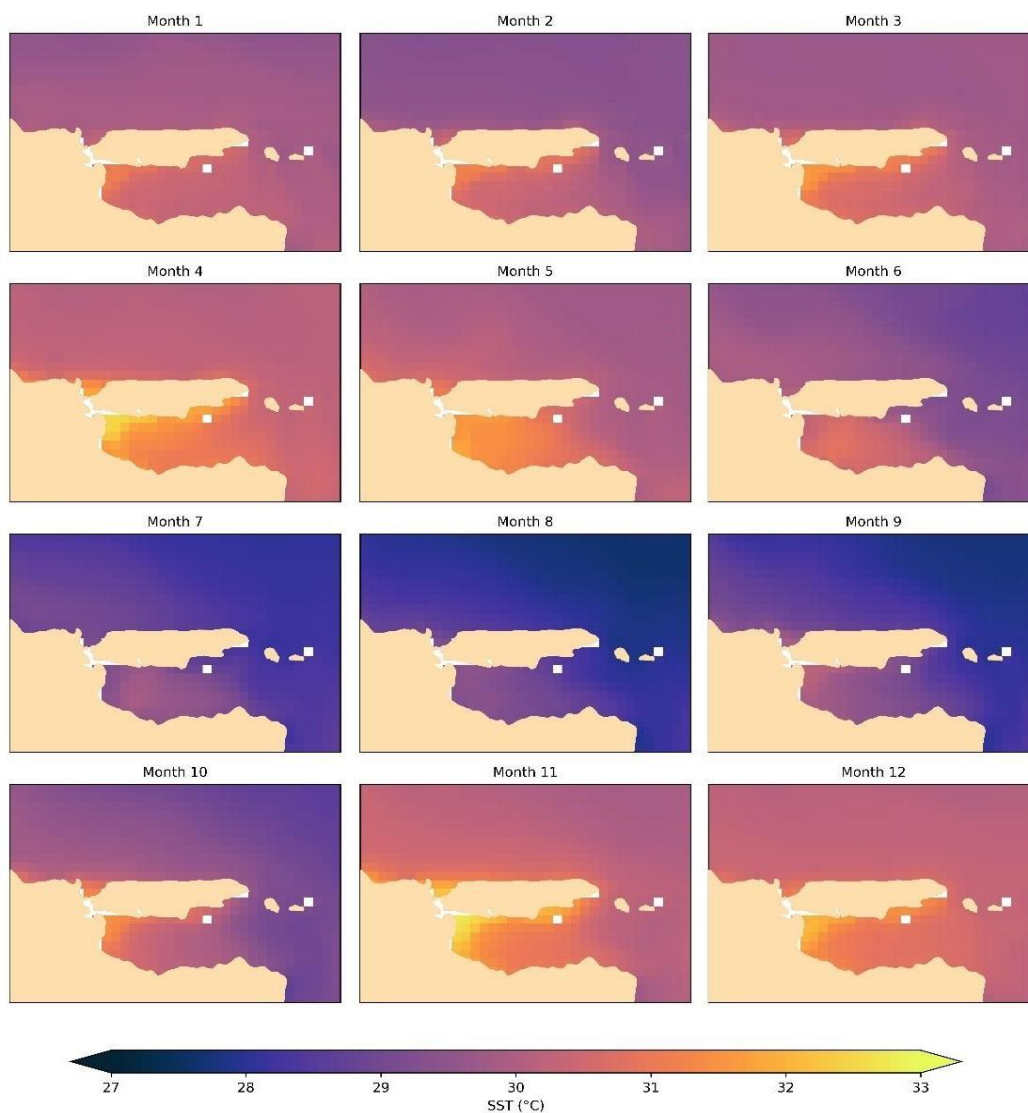
Variasi SST yang terlihat di gambar 4 menggambarkan peran penting angin musiman dalam mengatur SST di sekitar Pulau Madura. Pola ini sejalan dengan fenomena monsun yang telah dilaporkan dalam penelitian sebelumnya, seperti hasil studi oleh Fang *et al.* (2010), angin musiman memainkan peran kunci dalam variabilitas suhu dan arus di perairan Indonesia. Perairan di utara Pulau Madura (Loc 2) cenderung memiliki SST yang lebih rendah dibandingkan perairan di selatan (Loc 1), terutama selama musim timur. Hal ini disebabkan oleh pengaruh intrusi arus dari Samudera Hindia melalui Selat Lombok dan Selat Bali, yang membawa massa air yang lebih dingin ke perairan interior Indonesia (Susanto *et al.*, 2021). Sebaliknya, perairan di selatan Pulau Madura lebih terpengaruh oleh dinamika lokal seperti aliran sungai dan pengaruh daratan, yang menyebabkan SST lebih tinggi, terutama selama musim hujan (Siddha & Sahu, 2022).

Rata-rata klimatologi bulanan untuk SSS di perairan sekitar Pulau Madura ditunjukkan pada Gambar 5. Data ini menggambarkan distribusi salinitas di dua wilayah utama, yaitu di utara Pulau Madura (Laut Jawa) dan di selatan Pulau Madura. Setiap bulan memiliki skala bar yang menunjukkan tingkat variasi salinitas di wilayah ini sepanjang tahun. Peta ini menunjukkan variasi salinitas musiman yang signifikan di Laut Jawa dan perairan selatan Pulau Madura. Selama musim hujan (Desember hingga Februari), terlihat adanya penurunan salinitas di wilayah Laut Jawa, yang disebabkan oleh peningkatan aliran air tawar dari sungai besar di Jawa Timur. Sebaliknya, selama musim kemarau (Juni hingga Agustus), salinitas di Laut Jawa meningkat karena minimnya aliran sungai dan dominasi evaporasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan curah hujan (Schmitt, 2008). Seperti yang ditunjukkan dalam data debit sungai pada Gambar 3, peningkatan debit sungai selama musim hujan sangat mempengaruhi penurunan salinitas di Laut Jawa (Loc 2). Air tawar dari sungai membawa volume besar air bersalinitas rendah, yang bercampur dengan air laut dan menyebabkan penurunan salinitas secara signifikan di kawasan pesisir dan di sekitar muara sungai (Chevalier *et al.*, 2014). Penurunan salinitas lebih menonjol di wilayah dekat pantai dan berkurang seiring dengan bertambahnya jarak dari daratan (Li *et al.*, 2020).

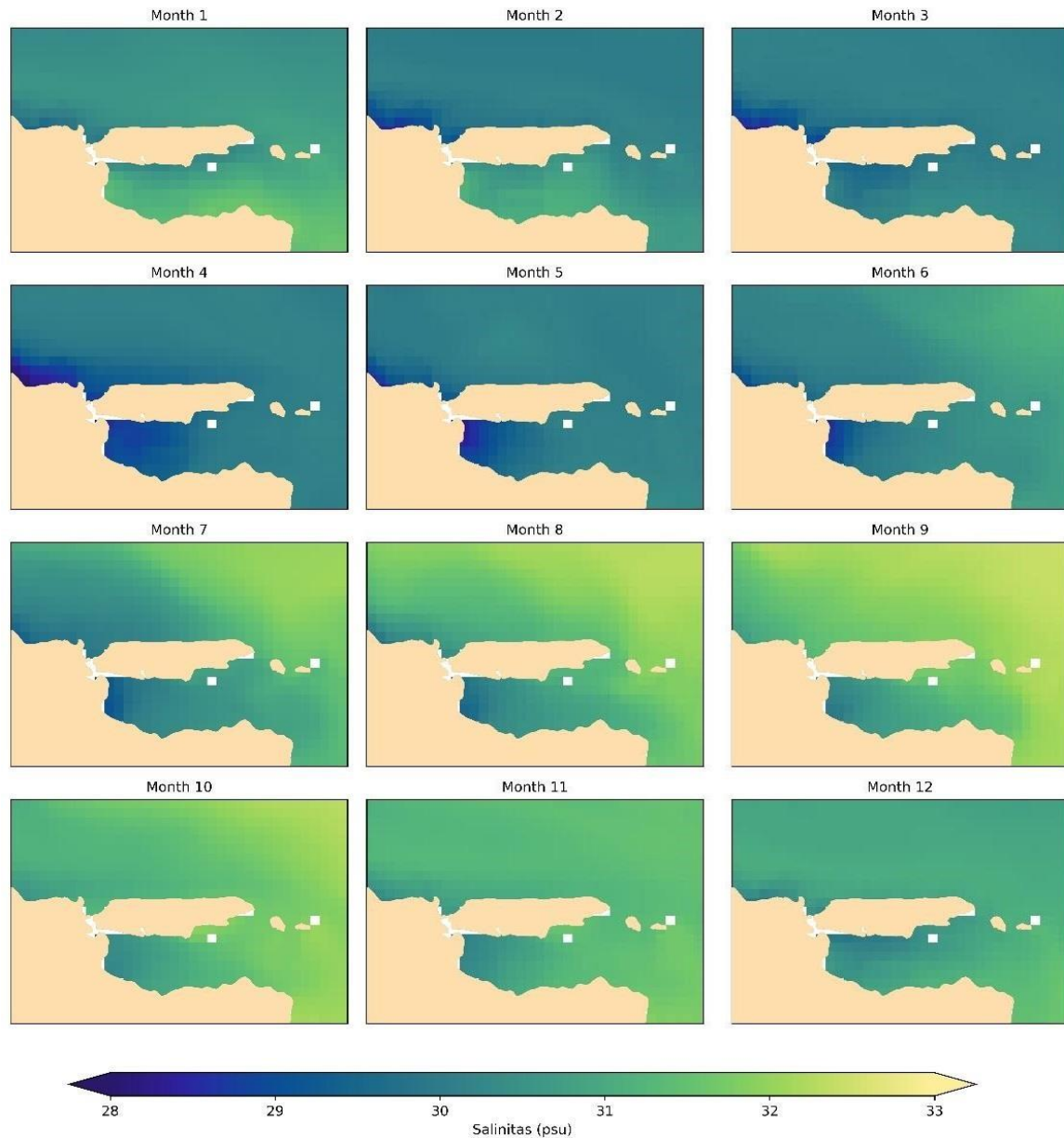
Di sisi lain, perairan selatan Pulau Madura (Loc 2) cenderung memiliki salinitas yang lebih stabil sepanjang tahun, meskipun sedikit peningkatan salinitas terjadi selama musim kemarau. Stabilitas ini disebabkan oleh pengaruh massa air dari Samudera yang memiliki salinitas lebih tinggi dan kurang terpengaruh oleh aliran sungai dari Jawa. Selain pengaruh debit sungai, evaporasi dan curah hujan juga memainkan peran penting dalam variasi salinitas di perairan (Obiany, 2019). Pada musim kemarau, di mana curah hujan rendah dan evaporasi tinggi, salinitas di Laut Jawa meningkat. Di beberapa perairan dangkal lainnya di Indonesia yang cenderung mengalami peningkatan salinitas selama musim kemarau (Gordon & Giulivi, 2008). Sebaliknya, pada musim hujan, tingginya curah hujan dan debit sungai berkontribusi pada penurunan salinitas. Hasil

analisis ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Purba *et al.* (2021), bahwa fluktuasi salinitas di Laut Jawa sangat dipengaruhi oleh siklus musiman debit sungai dan curah hujan. Studi lain oleh Fang *et al.* (2010) juga menunjukkan pentingnya memahami dinamika salinitas di kawasan pesisir dalam konteks perubahan iklim, karena variasi salinitas dapat mempengaruhi ekosistem laut, produktivitas perikanan, dan dinamika oseanografis regional di Indonesia. Salinitas tertinggi ditemukan pada musim timur dengan rentang nilai 31 – 33 psu, sedangkan pada musim barat memiliki salinitas terendah yang berkisar antara 28 – 30 psu.

Pola arus permukaan rata-rata bulanan di perairan sekitar Pulau Madura ditunjukkan pada Gambar 6. Peta ini menampilkan arah dan kekuatan arus di Laut Jawa (utara Madura) serta di perairan selatan Pulau Madura. Panah menunjukkan arah arus, sedangkan panjang panah menggambarkan kekuatannya. Setiap peta menunjukkan pola rata-rata bulanan, sehingga kita bisa melihat perubahan arus yang terjadi sepanjang tahun. Arus permukaan di Laut Jawa menunjukkan variasi musiman yang dipengaruhi oleh perubahan pola angin monsun (Hapsari *et al.*, 2021). Pada musim barat (Desember hingga Februari), arus di Laut Jawa bergerak dari arah barat laut, didorong oleh angin monsun barat yang kuat. Sebaliknya, pada musim timur (Juni hingga September), arus di Laut Jawa berbalik arah, bergerak ke tenggara seiring dengan perubahan arah angin dari monsun timur. Variasi arus ini konsisten dengan fenomena musiman yang umum terjadi di Laut Jawa dan dilaporkan dalam beberapa penelitian sebelumnya, seperti studi oleh Fang *et al.* (2010).

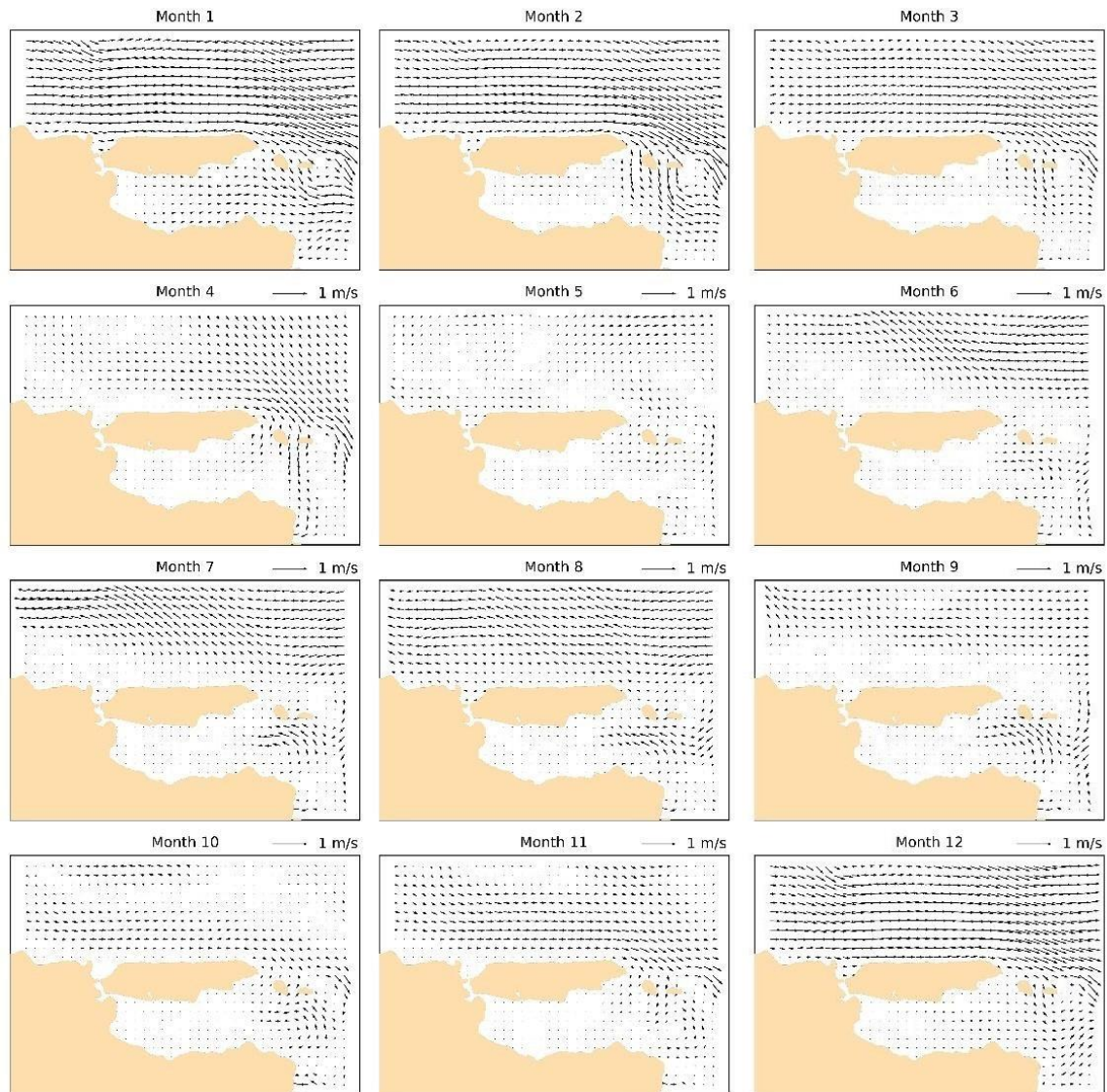


Gambar 4. Rata-rata klimatologi bulanan pada parameter SST.



Gambar 5. Rata-rata klimatologi bulanan pada parameter SSS.

Di perairan selatan Pulau Madura, arus menunjukkan pola yang lebih stabil sepanjang tahun, meskipun ada variasi musiman. Kecepatan arus di perairan selatan Pulau Madura (Loc 1) cenderung lebih rendah dan stabil sepanjang tahun, karena lokasi ini lebih terlindungi oleh topografi Pulau Madura dengan rentang nilai kecepatan arus 0,05 – 0,2 m/s. Di perairan utara Pulau Madura (Loc 2), yang berhadapan langsung dengan Laut Jawa, kecepatan arus lebih tinggi dan berfluktuasi lebih besar sepanjang tahun. Arus di wilayah ini dipengaruhi oleh siklus monsun serta intrusi arus dari Samudera Hindia dan Arlindo dengan rentang kecepatan arus 0,1 – 0,4 m/s. Monsun memainkan peran penting dalam menentukan arah dan kekuatan arus permukaan di perairan (Wang *et al.*, 2017). Pada musim barat, angin barat laut yang kuat mendorong arus di Laut Jawa dari arah barat, sementara di musim timur, angin tenggara memicu pergerakan arus ke arah sebaliknya. Fenomena ini menunjukkan bahwa perubahan angin musiman tidak hanya mempengaruhi SST, tetapi juga pola pergerakan air di permukaan. Penelitian oleh Gordon *et al.* (2012) menunjukkan bahwa pengaruh monsun sangat kuat di perairan dangkal seperti Laut Jawa, yang menghasilkan pola arus musiman yang jelas. Pola arus permukaan juga memiliki implikasi besar terhadap sedimentasi (Restrepo *et al.*, 2017). Selain itu, pola arus



Gambar 6. Pola arus permukaan pada perata-rataan tiap bulan

yang berubah secara musiman dapat memengaruhi pergerakan kapal dan transportasi laut, di mana arus yang lebih kuat meningkatkan tantangan bagi navigasi laut (Aksenov *et al.*, 2017). Interaksi antara SST, SSS, dan Arus Permukaan adalah elemen penting dalam dinamika oseanografis yang mempengaruhi kondisi laut di perairan sekitar Pulau Madura. SST yang lebih tinggi menyebabkan evaporasi yang lebih besar. Proses ini mengurangi volume air laut dan meningkatkan konsentrasi garam (salinitas), sehingga SSS dapat meningkat. Misalnya, di musim kemarau, ketika SST lebih tinggi, evaporasi juga meningkat, yang mengakibatkan penurunan kadar air tawar dan peningkatan salinitas. Sebaliknya, jika ada input air tawar yang lebih banyak (misalnya selama musim hujan), ini akan menurunkan SST secara lokal (karena air tawar biasanya lebih dingin) dan menurunkan salinitas. Selama musim timur, arus permukaan di Laut Jawa berbalik arah, dengan pergerakan air yang lebih kuat dari barat ke timur. Arus ini membawa massa air yang lebih dingin dan lebih asin dari Samudera, yang mengarah ke perairan Indonesia, khususnya di utara Pulau Madura (Loc 2). Arus yang bergerak ini membawa SST yang lebih rendah dan menghasilkan penurunan SST di wilayah tersebut.

KESIMPULAN

Perairan di sekitar Pulau Madura menunjukkan adanya variasi musiman signifikan antara kedua wilayah selama 2019-2020. Debit sungai memengaruhi penurunan salinitas terutama selama musim hujan, sementara

suhu permukaan laut dipengaruhi oleh monsun, dengan peningkatan suhu pada musim barat dan penurunan pada musim timur. Di selatan Madura, arus permukaan lebih stabil dan salinitas lebih rendah, dipengaruhi oleh monsoon dan sirkulasi regional. Debit sungai berfluktuasi dengan nilai tertinggi ($48 \text{ m}^3/\text{s}$) pada musim barat. Suhu permukaan laut secara umum berkisar $27 - 33 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan suhu maksimum pada musim barat dan minimum pada musim timur. Salinitas tertinggi ditemukan pada musim timur dengan rentang nilai $31 - 33$ psu, sedangkan pada musim barat memiliki salinitas terendah yang berkisar antara $28 - 30$ psu. Kecepatan arus di perairan selatan Pulau Madura cenderung lebih rendah dan stabil sepanjang tahun, karena lokasi ini lebih terlindungi oleh topografi Pulau Madura dengan rentang nilai kecepatan arus $0.05 - 0.2 \text{ m/s}$. Berbeda dengan utara Pulau Madura, kecepatan arus lebih tinggi dan berfluktuasi lebih besar sepanjang tahun dengan rentang kecepatan arus $0.1 - 0.4 \text{ m/s}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksenov, Y., Popova, E. E., Yool, A., Nurser, A. G., Williams, T. D., Bertino, L. & Bergh, J. 2017. On the future navigability of Arctic sea routes: High-resolution projections of the Arctic Ocean and sea ice. *Marine Policy*, 75: 300-317. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.12.027>.
- Aldrian, E. & Susanto, R. D. 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12): 1435-1452. <https://doi.org/10.1002/joc.950>.
- Atmadipoera, A. S., Jaya, I., Nugroho, D. & Akhir, M. F. 2022. Seasonal oceanographic changes and their implications for the abundance of small pelagic fishes in the southern South China Sea. *Regional Studies in Marine Science*, 54: 102499. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102499>.
- Bahiyah, A., Wirasatriya, A., Marwoto, J. & Anugrah, D.A., 2019. Study of seasonal variation of sea surface salinity in Java Sea and its surrounding seas using SMAP satellite. 4th International Conference on Tropical and Coastal Region Eco Development, Semarang. 30–31 October 2018.
- Chevalier, C., Pagano, M., Corbin, D. & Arfi, R. 2014. The salinity responses of tropical estuaries to changes in freshwater discharge, tidal mixing and geomorphology: case study of the man-affected Senegal River Estuary (West Africa). *Marine and Freshwater Research*, 65(11): 987-1002. <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2008.63>.
- Ciliberti, S. A., Grégoire, M., Staneva, J., Palazov, A., Coppini, G., Lecci, R. Peneva, E.; Matreata, M.; Marinova, V., Masina, S. Pinardi, N., Jansen, E., Lima, L., Aydoğdu, A., Creti, S., Stefanizzi, L., Azevedo, D., Causio, S., Vandenbulcke, L., Capet, A. Meulders, C., Ivanov, E., Behrens, A., Ricker, M., Gayer, G., Palermo, F., Ilicak, M., Gunduz, M., Valcheva, N. & Agostini, P. 2021. Monitoring and forecasting the ocean state and biogeochemical processes in the black Sea: Recent developments in the Copernicus marine service. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10): 1146. <https://doi.org/10.3390/jmse9101146>.
- Davis, J., O'Grady, A. P., Dale, A., Arthington, A. H., Gell, P. A., Driver, P. D., Bond, N., Casanova, M., Finlayson, M., Watts, R. J., Capon, S. J., Nagelkerken, I., Tingley, R., Fry, B., Page, T. J. & Specht, A. 2015. When trends intersect: The challenge of protecting freshwater ecosystems under multiple land use and hydrological intensification scenarios. *Science of the Total Environment*, 534: 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.127>.
- Dumatubun, I. A. P. P., Pranowo, W. S., Sartimbul, A., Setiyadi, J., Sari, S. H. J. & Setyawan, F. O. 2024. Karakteristik Arus Permukaan Laut pada Selat Madura: Characteristics of Sea Surface Current in Madura Strait. *Jurnal Chart Datum*, 10(1): 1-10. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v10i1.325>.
- Elken, J., Lehmann, A., & Myrberg, K. 2015. Recent change marine circulation and stratification. *Second assessment of climate change for the Baltic Sea Basin*, pp.131-144. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1_7.
- Fang, G., Chen, H., Wei, Z., Wang, Y., Wang, X. & Li, C. 2006. Trends and interannual variability of the South China Sea surface winds, surface height, and surface temperature in the recent decade. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(C11): 1-16. <https://doi.org/10.1029/2005JC003276>.
- Fang, Y., Ke, W., Wen, C., Kun, F. S., & Cheng, L. K. 2010. Temporal variations of the frontal and monsoon storm rainfall during the first rainy season in South China. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 3(5): 243-247. <https://doi.org/10.1080/16742834.2010.11446876>.

- Fang, K., Gou, X., Chen, F., Li, J., Zhou, F., & Li, Y. 2011. Covariability between tree-ring-based precipitation reconstructions in Northwest China and the sea-surface temperature of the Indian and Pacific Oceans. *Climate Research*, 49(1): 17-27. <http://dx.doi.org/10.3354%2Fcr01019>.
- Feng, M., Zhang, N., Liu, Q. & Wijffels, S. 2018. The Indonesian throughflow, its variability and centennial change. *Geoscience Letters*, 5(3): 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40562-018-0102-2>.
- Gibson, R. N., Barnes, M., & Atkinson, R. J. A. 2002. Impact of changes in flow of freshwater on estuarine and open coastal habitats and the associated organisms. *Oceanography and marine biology: an annual review*, 47: 233.
- Gillson, J. 2011. Freshwater flow and fisheries production in estuarine and coastal systems: where a drop of rain is not lost. *Reviews in Fisheries Science*, 19(3): 168-186. <https://doi.org/10.1080/10641262.2011.560690>.
- Gordon, A. L. & Giulivi, C. F. 2008. Sea surface salinity trends: over fifty years within the subtropical North Atlantic. *Oceanography*, 21(1): 20-29. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2008.64>.
- Gordon, A. L., Huber, B. A., Metzger, E. J., Susanto, R. D., Hurlburt, H. E. & Adi, T. R. 2012. South China Sea throughflow impact on the Indonesian throughflow. *Geophysical Research Letters*, 39(11): L11602. <https://doi.org/10.1029/2012GL052021>.
- Hapsari, S. N., Syamsuddin, M. L., Riyantini, I. & Sunarto. 2021. Seasonal Variations of Sea Surface Temperature and Sea Current in the Celebes Sea. *World News of Natural Sciences*, 35: 135-143.
- Harrigan, S., Zsoter, E., Cloke, H., Salamon, P. & Prudhomme, C. 2023. Daily ensemble river discharge reforecasts and real-time forecasts from the operational Global Flood Awareness System. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(1): 1–19. <https://doi.org/10.5194/hess-27-1-2023>.
- Hoitink, A. F. & Jay, D. A. 2016. Tidal river dynamics: Implications for deltas. *Reviews of Geophysics*, 54(1): 240-272. <https://doi.org/10.1002/2015RG000507>.
- Imanullah, I., Sofyan S., Sugianto S., Haditiar Y. & Rizal S. 2019. The relationship between monsoon and sea surface temperature in the western part of Aceh Waters, Indonesia. *2nd ICFAES 2019 International Conference on Fisheries, Aquatic and Environmental Sciences 2019 In Conjunctions with The 6th ASI 2019 Annual Conference of The Asian Society of Ichthyologist 2019*, Banda Aceh, Aceh Province. 19–20 June 2019.
- Innocenti, A. & Musco, F. 2023. Land–Sea Interactions: A Spatial Planning Perspective. *Sustainability*, 15(12): 9446. <https://doi.org/10.3390/su15129446>.
- Jeppesen, E., Brucet, S., Naselli-Flores, L., Papastergiadou, E., Stefanidis, K., Noges, T., Noges, P., Attayde, J. L., Zohary, T., Coppens, J., Bucak, T., Menezes, R. F., Freitas, F. R. S., Kernan, M., Søndergaard, M. & Beklioglu, M. 2015. Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. *Hydrobiologia*, 750: 201-227. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2169-x>.
- Kunarso, Ismunarti, D. H., Rifai, A., Munandar, B., Wirasatriya, A. & Susanto, R. D. 2023. Effect of Extreme ENSO and IOD on the Variability of Chlorophyll-a and Sea Surface Temperature in the North and South of Central Java Province. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 28(1): 1-11. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.28.1.1-11>.
- Lao, Q., Zhang, S., Li, Z., Chen, F., Zhou, X., Jin, G., Huang, P., Deng, Z., Chen, C., Zhu, Q. & Lu, X. 2022. Quantification of the seasonal intrusion of water masses and their impact on nutrients in the Beibu Gulf using dual water isotopes. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(7): e2021JC018065. <https://doi.org/10.1029/2021JC018065>.
- Li, X., Yang, W., Li, S., Sun, T., Bai, J., Pei, J., Xie, T. & Cui, B. 2020. Asymmetric responses of spatial variation of different communities to a salinity gradient in coastal wetlands. *Marine Environmental Research*, 158: 105008. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105008>.
- Maes, C. & O'Kane, T. J. 2014. Seasonal variations of the upper ocean salinity stratification in the Tropics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(3): 1706-1722. <https://doi.org/10.1002/2013JC009366>.
- Marfai, M. A., & King, L. 2008. Coastal flood management in Semarang, Indonesia. *Environmental Geology*, 55: 1507-1518. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-1101-3>.
- Merz, B., Blöschl, G., Vorogushyn, S., Dottori, F., Aerts, J. C., Bates, P., Bertola, M., Kemter, M., Kreibich, H., Lall, U. & Macdonald, E. 2021. Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2: 592-609. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00195-3>.

- Möller Jr, O. O., Piola, A. R., Freitas, A. C. & Campos, E. J. D. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental shelf research*, 28(13): 1607-1624. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.03.012>.
- Obianyano, J. I. 2019. Effect of salinity on evaporation and the water cycle. *Emerging Science Journal*, 3(4): 255-262. <https://doi.org/10.28991/esj-2019-01188>.
- Palmer, T. A., Montagna, P. A., Pollack, J. B., Kalke, R. D. & DeYoe, H. R. 2011. The role of freshwater inflow in lagoons, rivers, and bays. *Hydrobiologia*, 667: 49-67. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0637-0>.
- Pervez, M. S. & Henebry, G. M. 2015. Assessing the impacts of climate and land use and land cover change on the freshwater availability in the Brahmaputra River basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3: 285-311. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.09.003>.
- Prayogo, L. M. 2021. Pemetaan Pola Pergerakan Arus Permukaan Laut Pada Musim Peralihan Timur-Barat Di Perairan Madura, Jawa Timur. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 2(2): 69-75. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v2i2.10103>.
- Prudhomme, C., Zsótér, E., Matthews, G., Melet, A., Grimaldi, S., Zuo, H., Hansford, E., Harrigan, S., Mazzetti, C., Boisseson, E., Salamon, P. & Garric, G. 2024. Global hydrological reanalyses: The value of river discharge information for world-wide downstream applications—The example of the Global Flood Awareness System GloFAS. *Meteorological Applications*, 31(2): e2192. <https://doi.org/10.1002/met.2192>.
- Purba, N. P., Pranowo, W. S., Ndah, A. B. & Nanlohy, P. 2021. Seasonal variability of temperature, salinity, and surface currents at 0° latitude section of Indonesia seas. *Regional Studies in Marine Science*, 44: 101772. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101772>.
- Restrepo, J. C., Escobar, J., Otero, L., Franco, D., Pierini, J. & Correa, I. 2017. Factors influencing the distribution and characteristics of surface sediment in the Bay of Cartagena, Colombia. *Journal of Coastal Research*, 33(1): 135-148. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00185.1>.
- Sandeep, K. K., Pant, V., Girishkumar, M. S. & Rao, A. D. 2018. Impact of riverine freshwater forcing on the sea surface salinity simulations in the Indian Ocean. *Journal of Marine Systems*, 185: 40-58. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.05.002>.
- Schmitt, R. W. 2008. Salinity and the global water cycle. *Oceanography*, 21(1): 12-19. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2008.63>.
- Siddha, S. & Sahu, P. 2022. Impact of climate change on the river ecosystem. *Ecological significance of river ecosystems*, 79-104. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00014-5>.
- Siswanto, A. D. & Nugraha, W. A. 2014. Studi Parameter Oseanografi di Perairan Selat Madura Kabupaten Bangkalan. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 7(1): 45-49. <https://doi.org/10.21107/jk.v7i1.796>.
- Susanto, R. D., Waworuntu, J. M., Prayogo, W. & Setianto, A. 2021. Moored observations of current and temperature in the Alas Strait. *Oceanography*, 34(1): 240-248. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2021.103>.
- Syvitski, J. P. M., Cohen, S., Kettner, A. J. & Brakenridge, G. R. 2014. How important and different are tropical rivers? - An overview. *Geomorphology*, 227: 5-17. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.029>.
- Tozuka, T., Qu, T., Masumoto, Y. & Yamagata, T. 2009. Impacts of the South China Sea Throughflow on seasonal and interannual variations of the Indonesian Throughflow. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 47(1-3): 73-85. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2008.09.001>.
- Trinugroho, T., Satriadi, A. & Muslim. 2019. Sebaran thermal front musiman di wilayah perairan Selat Madura menggunakan single image edge detection. *Journal of Marine Research*, 8(4): 416-423. <https://doi.org/10.14710/jmr.v8i4.24815>.
- Van Vliet, M. T. H., Franssen, W. H. P., Yearsley, J. R., Ludwig, F., Haddeland, I., Lettenmaier, D. P. & Kabat, P. 2013. Global river discharge and water temperature under climate change. *Global Environmental Change*, 23(2): 450-464. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.11.002>.
- Wang, P. X., Wang, B., Cheng, H., Fasullo, J., Guo, Z., Kiefer, T. & Liu, Z. 2017. The global monsoon across time scales: Mechanisms and outstanding issues. *Earth-Science Reviews*, 174: 84-121. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.07.006>.
- Wang, J., Xu, J., Yang, Y., Lyv, Y. & Luan, K. 2021. Seasonal and interannual variations of sea surface temperature and influencing factors in the Yangtze River Estuary. *Regional Studies in Marine Science*, 45: 101827. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101827>.

- Wirasatriya, A., Setiawan, R. Y. & Subardjo, P. 2017. The effect of ENSO on the variability of chlorophyll-a and sea surface temperature in the Maluku Sea. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(12): 5513-5518. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2745207>.
- Yamanaka, M. D., Ogino, S. Y., Wu, P. M., Jun-Ichi, H., Mori, S., Matsumoto, J. & Syamsudin, F. 2018. Maritime continent coastlines controlling Earth's climate. *Progress in Earth and Planetary Science*, 5(21): 1-28. <https://doi.org/10.1186/s40645-018-0174-9>.
- Zhang, H. & Moise, A. 2016. The Australian summer monsoon in current and future climate. *The Monsoons and Climate Change: Observations and Modeling*, pp.67-120. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21650-8_5.