

Analisis Hubungan antara Intensitas Curah Hujan dan Kandungan Klorofil-a serta Suhu Permukaan Laut di Perairan Utara Jawa

Pramesthi Dwi Octavianna^{1*}, Muhammad Helmi², Lilik Maslukah², Warsito Atmodjo², Gentur Handoyo²

¹Magister Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

²Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang Semarang, Jawa Tengah 50265 Indonesia

Email: pramesthidwio@gmail.com

Abstrak

Perairan utara Jawa merupakan wilayah tropis dangkal yang tidak dipengaruhi secara langsung oleh samudra lepas, tetapi sangat dipengaruhi oleh sistem monsun Australia–Asia. Variasi musiman yang dihasilkan oleh sistem ini menyebabkan fluktuasi signifikan pada curah hujan, suhu permukaan laut (SPL), dan produktivitas perairan yang diindikasikan oleh konsentrasi klorofil-a. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara curah hujan baik di darat maupun di laut terhadap distribusi SPL dan klorofil-a di wilayah pesisir dan laut lepas perairan utara Jawa. Metode yang digunakan bersifat kuantitatif berbasis penginderaan jauh dengan pemanfaatan data harian selama periode 2007–2021, meliputi OC-CCI v5.0 untuk klorofil-a, OSTIA L4 (SPL), GSMaP (curah hujan), dan ASCAT (angin). Data diolah menggunakan *Interactive Data Language (IDL)* melalui komposit bulanan dan klimatologi musiman. Hasil analisis menunjukkan bahwa curah hujan dan SPL memiliki hubungan timbal balik yang kompleks. Peningkatan suhu permukaan laut dapat meningkatkan intensitas curah hujan, namun disisi lain, curah hujan yang tinggi dapat menurunkan SPL akibat pencampuran air hujan bersuhu lebih rendah dengan air laut. Di wilayah pesisir, peningkatan curah hujan daratan memperbesar debit sungai yang berkontribusi terhadapnya masukan nutrien dan selanjutnya menaikkan konsentrasi klorofil-a di perairan pantai. Sementara itu, di laut lepas, pengaruh angin lebih dominan dalam mengontrol variasi SPL dan klorofil-a melalui proses pengadukan vertikal. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dinamika atmosfer dan laut membentuk interaksi yang kuat dalam mengendalikan variabilitas termal dan produktivitas perairan di pesisir utara Jawa.

Kata kunci: Curah Hujan, Klorofil-a, Suhu Permukaan Laut, Angin, *Run Off*

Abstract

Analysis of the Relationship between Rainfall Intensity and Chlorophyll-a and SST in North Java Waters

The northern waters of Java are a shallow tropical region that is not directly influenced by the open ocean, but is heavily affected by the Australia–Asia monsoon system. The seasonal variations produced by this system lead to significant fluctuations in rainfall, sea surface temperature (SST), and marine productivity as indicated by chlorophyll-a concentration. This study aims to analyze the relationship between rainfall, both on land and at sea, and the distribution of SST and chlorophyll-a in the coastal and offshore areas of northern Java waters. The method used is quantitative, based on remote sensing by utilizing daily data from the period 2007–2021, including OC-CCI v5.0 for chlorophyll-a, OSTIA L4 (SST), GSMaP(rainfall), and ASCAT (wind). The data were processed using *Interactive Data Language (IDL)* through monthly composites and seasonal climatology. The analysis results show that rainfall and SST have a complex reciprocal relationship. An increase in sea surface temperature can enhance the intensity of rainfall by increasing the atmosphere's capacity to hold water vapor, while heavy rainfall can lower SST due to the mixing of cooler rainwater with seawater. In coastal areas, increased land-based rainfall leads to higher river discharge carrying nutrients to the sea, thus raising chlorophyll-a concentrations. Meanwhile, in offshore areas, wind influence is more dominant in controlling variations in SST and chlorophyll-a through vertical mixing processes. Overall, the results of this study indicate that atmospheric and oceanic dynamics create strong interactions in controlling thermal variability and water productivity in the northern coastal waters of Java.

Keywords: Rainfall, Chlorophyll-a, Sea Surface Temperature, Wind, *Run Off*

PENDAHULUAN

Dinamika antara laut dan atmosfer memainkan peran penting dalam mengatur variabilitas kondisi oseanografi, termasuk suhu permukaan laut (SPL), curah hujan, dan distribusi klorofil-a. Wilayah tropis seperti Indonesia, memiliki dua musim utama, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Perairan utara Jawa merupakan bagian dari perairan Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa dan dikenal sebagai benua maritim. Karakteristik unsur-unsur cuaca yang mempengaruhi curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh kondisi iklim monsun yang memiliki perbedaan musim basah dan musim kering akibat sistem pola monsun Australia-Asia. Pola siklus monsun Australia-Asia terjadi dikarenakan perbedaan tekanan di benua Asia dan Australia secara bergantian (Susilokarti *et al.*, 2015). Dinamika iklim tersebut dapat memengaruhi kondisi SPL dan klorofil-a di wilayah perairan utara Jawa.

Curah hujan merupakan salah satu variabel meteorologi yang memiliki peran penting dalam siklus hidrologi dan dinamika iklim regional maupun global. Variasi curah hujan dipengaruhi oleh berbagai faktor atmosfer dan oseanografi, termasuk SPL, kondisi atmosfer, dan interaksi antara laut dan atmosfer. Kondisi SPL yang lebih hangat dapat meningkatkan penguapan dan, bersama dengan faktor angin, memengaruhi distribusi uap air di atmosfer, sehingga berdampak pada intensitas dan pola curah hujan (Bai *et al.*, 2023). Curah hujan juga berperan dalam membawa nutrisi dari daratan ialah air hujan yang akan mengalir melalui aliran sungai dan bermuara ke perairan laut disekitarnya. Peningkatan curah hujan di musim penghujan yang terjadi di Indonesia dapat memperkaya perairan pesisir dengan nutrisi dari darat, sehingga mendorong peningkatan konsentrasi klorofil-a (Mutia *et al.*, 2021).

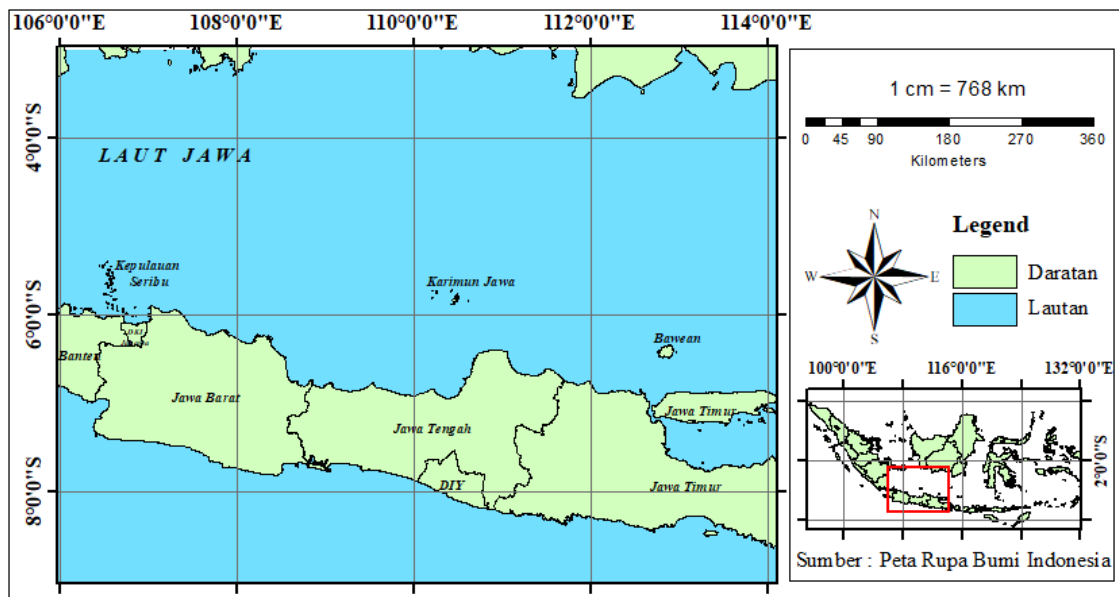
Sebagian besar penelitian di wilayah Jawa telah membahas hubungan antara fenomena atmosferik seperti monsun, ENSO, dan IOD terhadap parameter oseanografi seperti SPL dan curah hujan, namun umumnya hanya berfokus pada dua variabel atau pada wilayah selatan Jawa yang didominasi oleh pengaruh *upwelling* dan sirkulasi laut terbuka. Penelitian yang dilakukan di pesisir utara Jawa, yang secara hidrologis lebih dipengaruhi oleh curah hujan dan limpasan daratan sebagian besar memiliki cakupan waktu yang pendek serta belum mengintegrasikan variabel klorofil-a sebagai indikator produktivitas perairan. Beberapa studi lain di Jawa Tengah hanya menguji korelasi antara SPL dan curah hujan tanpa mempertimbangkan faktor angin atau variabilitas musiman yang lebih luas. Selain itu, penelitian sebelumnya umumnya menggunakan pendekatan temporal musiman tanpa analisis jangka panjang yang berkesinambungan atau integrasi data multivariat lintas sensor satelit. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya kajian yang menggabungkan data curah hujan, SPL, dan klorofil-a dalam rentang waktu panjang dengan resolusi tinggi untuk mengidentifikasi hubungan spasio-temporal antarparameter laut atmosfer di wilayah pesisir tropis, khususnya di perairan utara Jawa.

Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis penginderaan jauh dengan mengombinasikan empat dataset utama, yaitu *Ocean Colour Climate Change Initiative* (OC-CCI v5.0) untuk klorofil-a, *Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis* (OSTIA) untuk suhu permukaan laut, *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) untuk curah hujan, serta *Advanced Scatterometer* (ASCAT) untuk data angin permukaan. Data harian selama periode 2007–2021 diolah menggunakan *Interactive Data Language* (IDL) untuk menganalisis hubungan spasio-temporal antara curah hujan, SPL, dan klorofil-a di perairan pesisir utara Jawa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara curah hujan terhadap konsentrasi klorofil-a dan suhu permukaan laut di perairan pesisir utara Jawa. Berbeda dari penelitian sebelumnya, studi ini menekankan integrasi data satelit selama 15 tahun, sehingga mampu menggambarkan hubungan spasio-temporal antara curah hujan, suhu permukaan laut, dan klorofil-a secara lebih rinci dan berkesinambungan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya pemahaman tentang dinamika oseanografi pesisir tropis serta mendukung pengelolaan sumber daya kelautan di wilayah utara Jawa secara berkelanjutan.

MATERI DAN METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Utara Perairan Jawa pada peta ditampilkan dalam Gambar 1. Wilayah ini dipilih karena dengan karakteristik wilayah bertopografi landai dan dangkal yang tidak dipengaruhi secara langsung oleh dinamika Samudra Hindia maupun Samudra Pasifik, tetapi masih menerima pengaruh kuat dari sistem angin musiman Australia-Asia. Analisis dilakukan menggunakan data selama periode 15 tahun (2007–2021) untuk menangkap dinamika jangka panjang serta variasi musiman antara Musim Barat (Desember-Februari), Peralihan I (Maret-Mei), Timur (Juni-Agustus), dan Peralihan II (September-November).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Materi Penelitian

Materi yang digunakan terdiri dari data utama dan data pendukung. Data utama pada penelitian yaitu data curah hujan, klorofil-a, dan SPL. Data curah hujan bersumber dari citra *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) yang disediakan oleh *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) dengan resolusi spasial 0.1° (10 km) dan temporal harian (mm/hari). Data klorofil-a didapatkan dari citra *Ocean Colour-Climate Change Initiative* (OC-CCI) yang dikembangkan *European Space Agency* (ESA) yang memiliki resolusi spasial 0.04° (4 km) dan resolusi temporal harian. Data SPL didapatkan dari *Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis* (OSTIA) yang disediakan oleh UK Met Office melalui *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS). dan memiliki resolusi spasial 0.05° (5 km) dan resolusi temporal harian dengan satuan $^\circ\text{C}$. Data utama yang digunakan merupakan time series selama 15 tahun dari tahun 2007-2021. Sedangkan data pendukung yang digunakan yaitu data angin dan debit sungai. Data angin permukaan laut didapatkan dari citra *Advanced Scatterometer* (ASCAT) dari satelit *MetOp-A/B European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT) memiliki resolusi spasial 0.125° (12.5 km) dan temporal harian (m/s). Data angin digunakan dengan periode selama 15 tahun dari tahun 2007 hingga 2021, sedangkan debit sungai didapatkan dari Balai Besar Wilayah Sungai Pemali-Juana dengan periode 1 tahun yaitu 2021.

Pengolahan Data

Pengolahan data curah hujan dari satelit GSMaP, data klorofil-a dari satelit OC-CCI, dan SPL dari satelit OSTIA, dan data angin dari ASCAT dilakukan menggunakan IDL (*Interactive Data Language*). Pengolahan pada penelitian setiap data kali ini melalui langkah-langkah yang sama. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengekstrak data harian selanjutnya mengkompilasi bulanan. Setelah didapatkan data komposit bulanan, langkah terakhir data tersebut diolah menjadi data komposit klimatologi bulanan. Rumus komposit klimatologi bulanan mengikuti yang dilakukan oleh Wirasatriya *et al.* (2017):

$$x kb(x, y) = \frac{1}{nT} \sum_{T=1}^n xT(x, y, t)$$

Keterangan: $x kb(x, y)$ = Rata-rata klimatologi bulan; $xT(x, y, t)$ = Data periode ke-1 pada posisi bujur (x), lintang (y), dan hari ke-t; n = Jumlah total bulan dalam periode pengamatan; $T = 1$ = Periode ke-1 pada bulan komposit; *Jika $xT = \text{Nan}$, maka data tersebut tidak mempunyai nilai (data kosong) dan tidak dimasukkan dalam perhitungan rata-rata

Analisis Korelasi

Korelasi antara curah hujan dan angin terhadap klorofil-a dan SPL dihitung menggunakan perhitungan korelasi *Pearson*. Metode analisis korelasi ini digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan linier terhadap dua variabel yaitu antara curah hujan terhadap klorofil-a dan SPL serta angin terhadap klorofil-a dan SPL. Nilai korelasi menggunakan persamaan sebagai berikut (Sugiyono, 2014):

$$r_{xy} = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{\{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2\} \{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2\}}}$$

Keterangan: r_{xy} = Koefisien korelasi Pearson; n = Jumlah data; X_i = Variabel bebas; Y_i = Variabel terikat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi Spasial dan Musiman Parameter Oseanografi di Perairan Utara Jawa

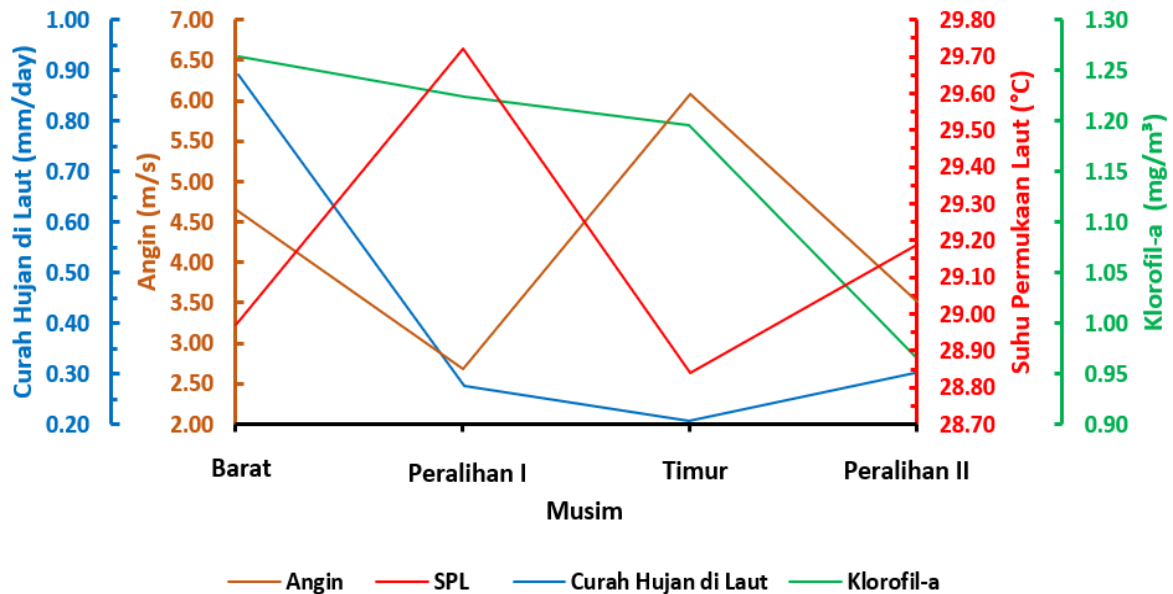
Secara temporal variasi konsentrasi rata-rata klorofil-a pada area penelitian tinggi pada musim barat yaitu 1,26 mg/m³ lalu mengalami sedikit penurunan pada musim peralihan I, memasuki musim timur dan musim peralihan II konsentrasi klorofil terus mengalami penurunan sampai titik terendah dengan nilai 0,97 mg/m³. Sedangkan sebaran spasial variasi konsentrasi rata-rata klorofil-a pada area penelitian (Gambar 3) menunjukkan perbedaan konsentrasi klorofil-a pada perairan lepas dan perairan pesisir. Konsentrasi klorofil-a di perairan lepas lebih kecil daripada konsentrasi klorofil-a di pesisir. Hal itu disebabkan karena terdapat faktor lain yang lebih mempengaruhi konsentrasi klorofil-a di perairan lepas. Perairan pesisir terkena limpasan air dari daratan yang kaya akan nutrisi dan material mengalir dari sungai bermuara ke pesisir pantai. Pernyataan tersebut juga diperkuat oleh penelitian yang telah dilakukan Kunarso *et al.*, (2019), bahwa curah hujan akan meningkatkan *run-off* sungai yang mengandung nutrisi yang cukup tinggi. Semakin besar intensitas hujan yang terjadi maka akan lebih banyak air yang mengalir ke muara dan kemungkinan akan semakin membawa lebih banyak unsur hara dan nutrisi dari kawasan darat. Masotti *et al.*, (2018), debit sungai memiliki pengaruh berbanding lurus dengan masukan nutrisi di perairan pesisir yang mempengaruhi biomassa fitoplankton.

Dapat dilihat variasi nilai rata-rata SPL di perairan utara Jawa pada musim barat memiliki nilai SPL 28,97°C, lalu mengalami peningkatan pada musim peralihan I dengan nilai SPL 29,72°C. Pada musim timur SPL mengalami penurunan kembali mencapai 28,84°C dan mengalami sedikit peningkatan kembali saat memasuki musim peralihan II sebesar 29,19°C. Sedangkan sebaran spasial variasi nilai rata-rata SPL pada area penelitian (Gambar 4) menunjukkan hasil yang serupa dengan Gambar 2. Namun pada perairan lepas memiliki nilai SPL lebih kecil (dingin) jika dibandingkan nilai SPL perairan pesisir pantai. Menurut Wirasatriya *et al.*, (2017), sebaran SPL di perairan lepas lebih dipengaruhi oleh angin. Hal tersebut dikarenakan di laut terbuka tidak ada hambatan daratan yang mengurangi kecepatan angin.

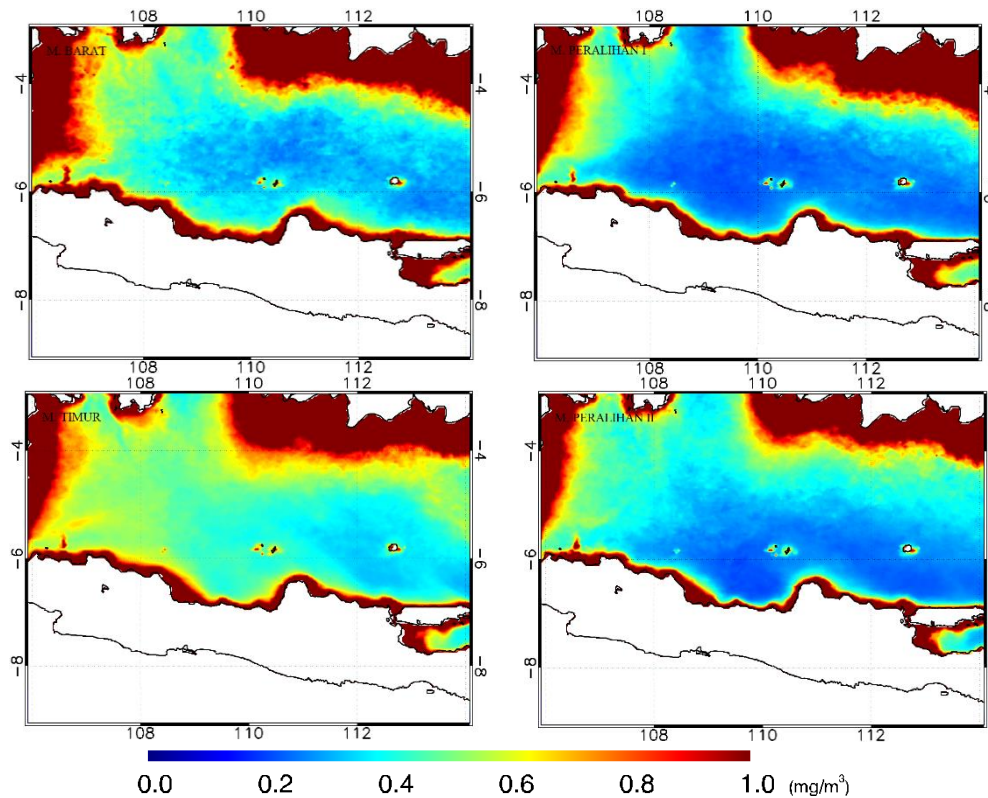
Intensitas curah hujan mengalami puncak tertinggi pada musim barat dimana sedang terjadi penghujan di wilayah penelitian dengan nilai rata-rata intensitas curah hujan mencapai 0,89 mm/hari, intensitas hujan menurun saat memasuki musim peralihan I dan musim timur dimana memiliki nilai 0,28 mm/hari dan 0,21 mm/hari. Kemudian di saat musim peralihan II intensitas hujan mengalami sedikit kenaikan dimana memiliki intensitas curah hujan sebesar 0,30 mm/hari. Sedangkan secara spasial (Gambar 5) menunjukkan hasil yang serupa dengan Gambar 2. intensitas curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh letak lintang dan posisi matahari. Menurut Handoko (1995), pada bulan Oktober-April posisi semu matahari di belahan bumi selatan sehingga angin berhembus dari Benua Asia membawa aliran massa udara basah menuju Benua Australia mengakibatkan Indonesia terjadi musim penghujan. Sebaliknya saat bulan April-Oktober posisi semu matahari terletak di belahan bumi utara sehingga angin berhembus dari Benua Australia membawa massa udara kering menuju Benua Asia menyebabkan terjadinya musim kemarau.

Berdasarkan hasil secara spasial arah angin pada musim barat didominasi dari arah barat laut menuju timur (Gambar 6), namun terdapat pula angin yang berhembus berasal dari arah barat menuju ke timur dan memiliki nilai rata-rata sekitar 4,65 m/s, kemudian terjadi pembelokan pada musim peralihan I dimana angin didominasi dari arah tenggara menuju barat laut dan terdapat beberapa angin yang menuju ke utara dengan kecepatan rata-rata 2,69 m/s. Pada musim timur angin berhembus dari tenggara menuju barat dan barat laut dengan

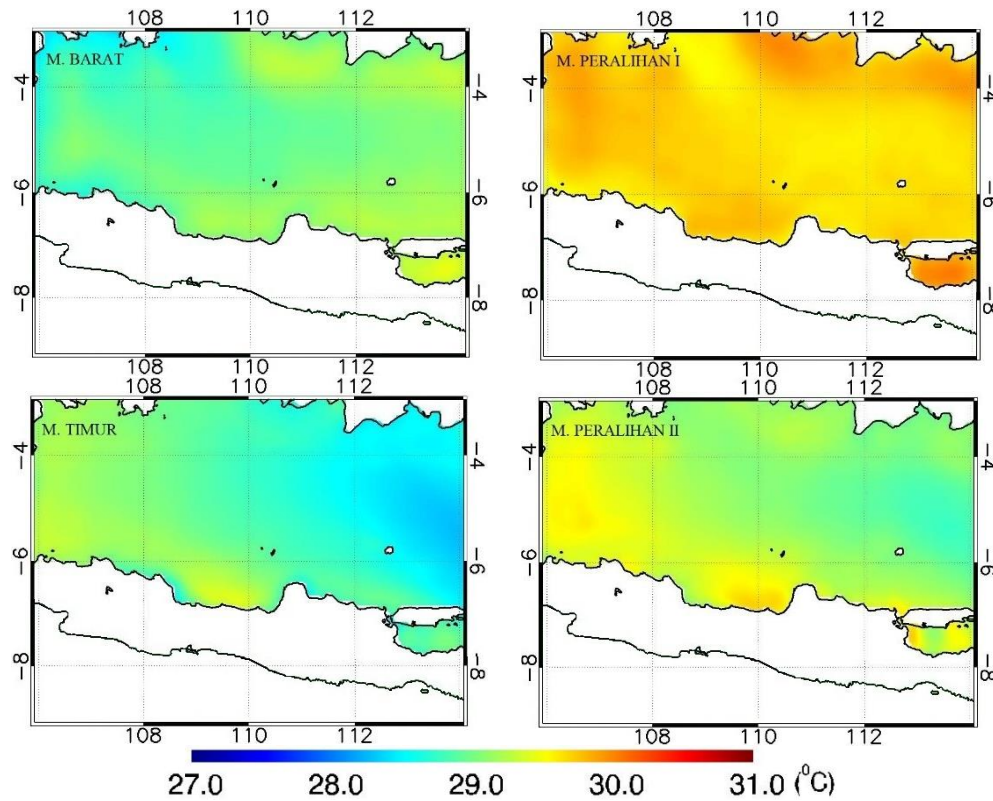
rata-rata kecepatan angin mengalami kenaikan mencapai 6,09 m/s, lalu mengalami penurunan kembali di saat memasuki musim peralihan II mencapai 3,52 m/s dengan angin yang berhembus dari tenggara menuju barat laut.



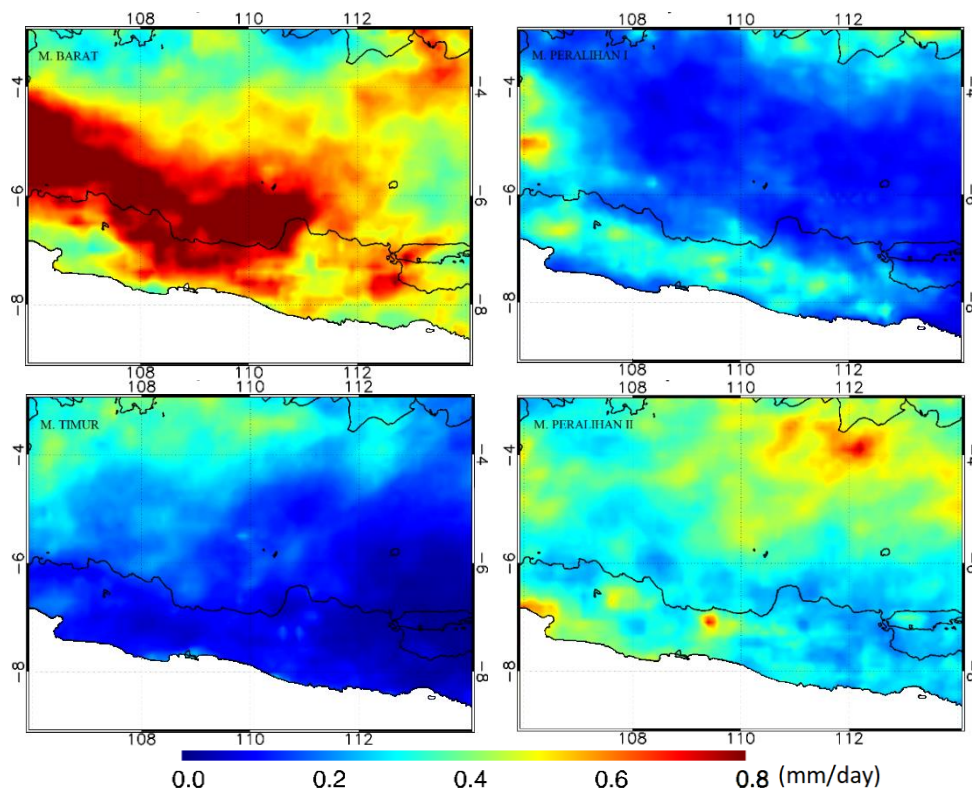
Gambar 2. Variasi rata-rata klorofil-a, SPL, intensitas curah hujan, dan kecepatan angin yang terjadi di perairan utara Jawa permusim periode 2007 – 2021



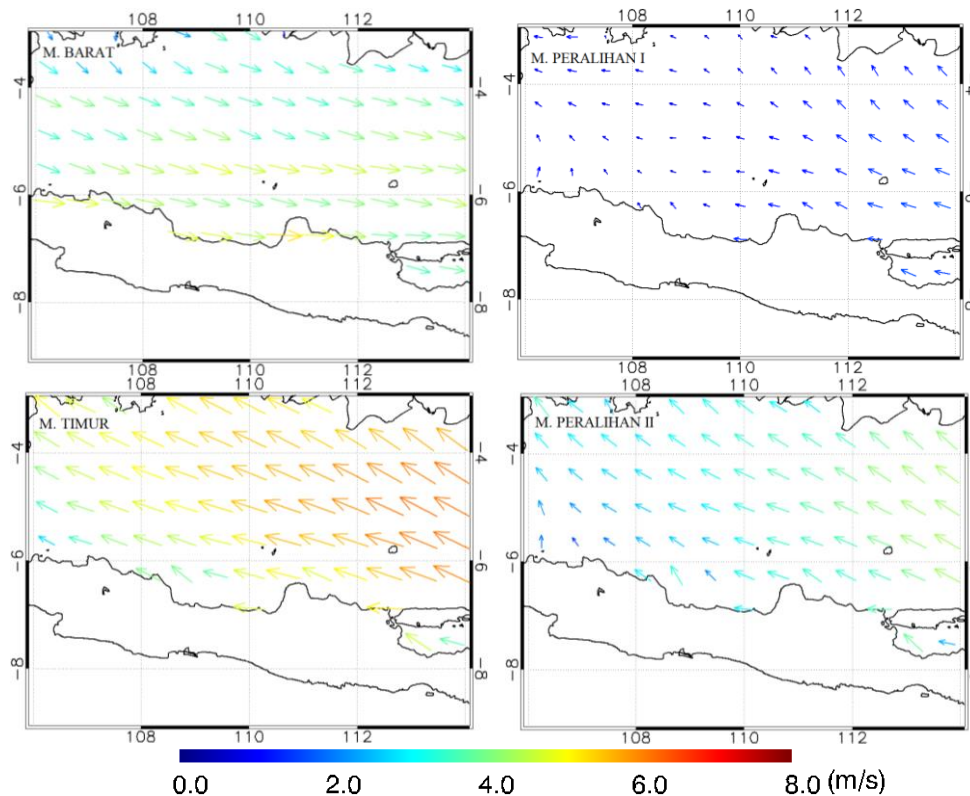
Gambar 3. Distribusi klorofil-a klimatologi permusim di perairan utara Jawa periode 2007-2021



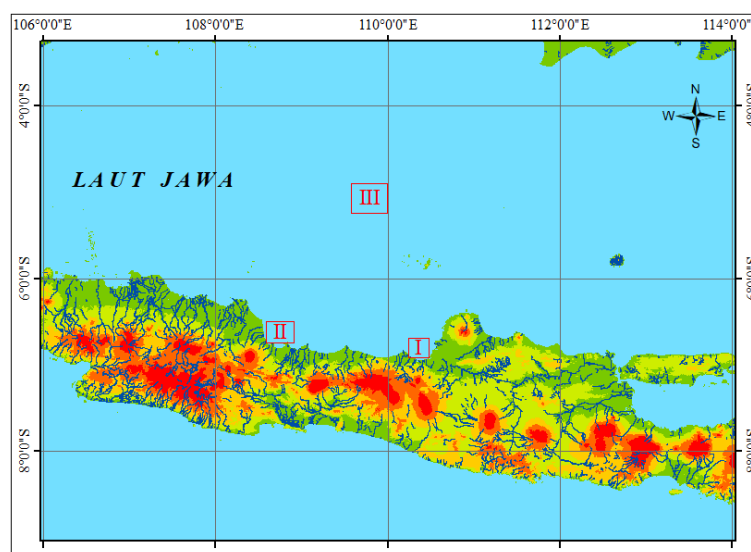
Gambar 4. Distribusi SPL klimatologi permusim di perairan utara Jawa periode 2007-2021



Gambar 5. Pola intensitas curah hujan klimatologi permusim di perairan utara Jawa periode 2007-2021



Gambar 6. Pola arah dan kecepatan angin klimatologi permusim di perairan utara Jawa periode 2007-2021



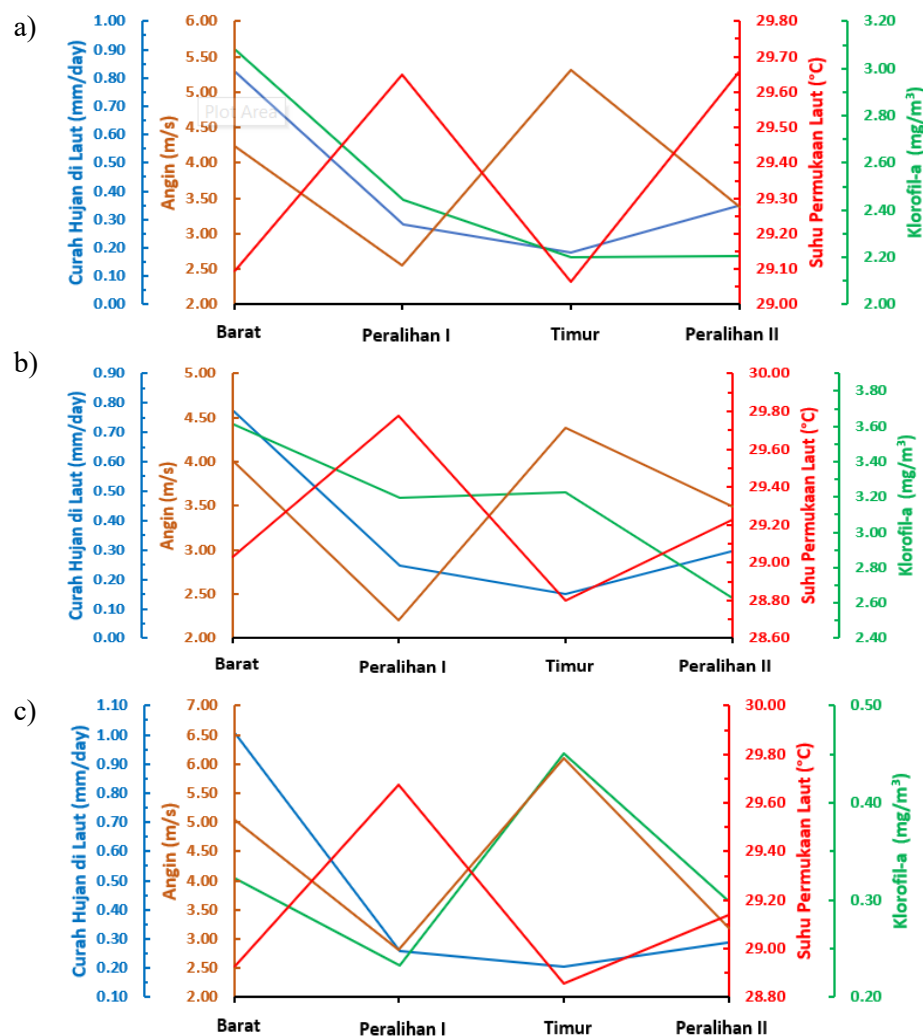
Gambar 7. Are uji parameter klorofil-a dan SPL dengan angin dan curah hujan di laut

Pengaruh Angin dan Curah Hujan di Laut Terhadap Distribusi Klorofil-a dan SPL di Perairan

Dalam menentukan keterkaitan angin dan curah hujan terhadap klorofil-a dan SPL, wilayah studi yang diuji meliputi perairan pantai dan wilayah laut lepas (*offshore*). Area uji 1 dan 2 yang terletak di perairan Semarang dan perairan Cirebon akan mewakili daerah perairan pesisir pantai dan area uji 3 akan mewakili perairan lepas Pantai (Gambar 7). Pemilihan lokasi area uji tersebut didasarkan oleh ketersediaan data Daerah Aliran Sungai (DAS) yang diterima dari Balai Besar Wilayah Sungai Pemali-Juana. Grafik keterkaitan variasi klorofil-a dan SPL terhadap kecepatan angin dan curah hujan di perairan dapat dilihat pada Gambar 8 dan korelasi antar parameter pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil korelasi curah hujan di laut, angin, SPL, dan klorofil-a

	Korelasi Pearson	Curah Hujan (Laut)	SPL	Klorofil-a	Angin
Pesisir Semarang	Curah Hujan (Laut)	1,000			
	SPL	-0,341	1,000		
	Klorofil-a	0,939	-0,415	1,000	
	Angin	0,024	-0,896	0,010	1,000
Pesisir Cirebon	Curah Hujan (Laut)	1,000			
	SPL	-0,147	1,000		
	Klorofil-a	0,594	-0,206	1,000	
	Angin	0,209	-0,998	0,223	1,000
Perairan Lepas Pantai	Curah Hujan (Laut)	1,000			
	SPL	-0,361	1,000		
	Klorofil-a	-0,104	-0,835	1,000	
	Angin	0,248	-0,845	0,912	1,000

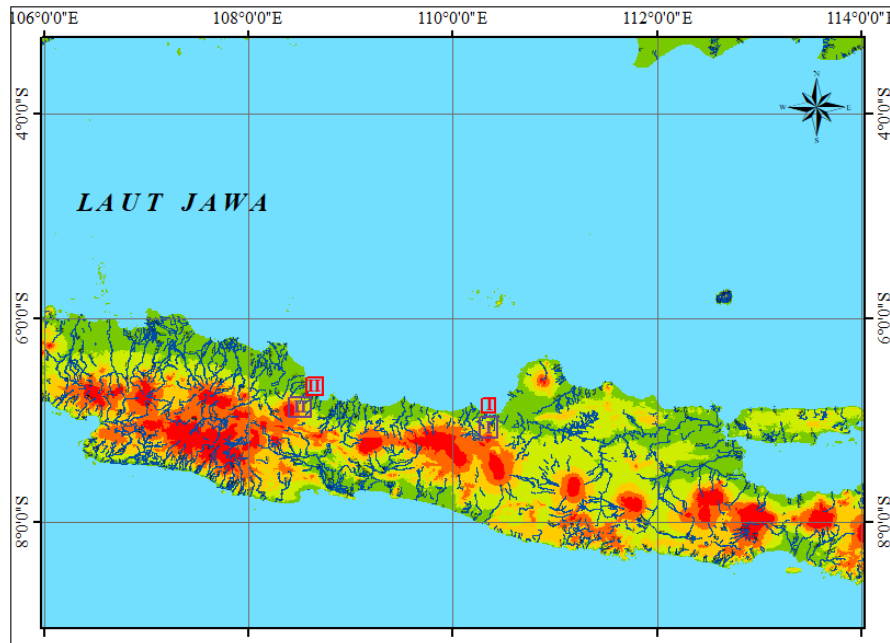
**Gambar 8.** Variasi Klimatologi bulanan klorofil-a, SPL, curah hujan (laut) dan angin (laut) terhadap waktu di (a) perairan Semarang, (b) perairan Cirebon, dan (c) perairan lepas Pantai

Keterkaitan antara klorofil-a dan kecepatan angin yang berhembus memiliki korelasi positif. Menurut Muhammad *et al.*, (2021), tingginya konsentrasi klorofil-a dipengaruhi oleh kecepatan angin. Kencangnya kecepatan angin akan menyebabkan proses pengadukan yang kuat sehingga nutrisi yang berada di dasar perairan teraduk dan naik ke lapisan atas sehingga meningkatkan konsentrasi klorofil-a di perairan. Sedangkan antara kecepatan angin dan klorofil-a memiliki nilai korelasi yang sedang pada area perairan pesisir namun memiliki nilai korelasi yang tinggi pada perairan lepas pantai. Pada area uji I-III secara berurutan nilai korelasi antara klorofil-a dan kecepatan angin yaitu 0,01, 0,223, dan 0,912. Hal tersebut membuktikan bahwa konsentrasi klorofil-a di perairan lepas pantai sangat dipengaruhi oleh angin musim (korelasi sangat kuat), sedangkan pada perairan pesisir kecepatan angin yang berhembus kurang mempengaruhi distribusi klorofil-a dikarenakan adanya hambatan daratan yang mengurangi kecepatan angin. Menurut Wirasatriya *et al.*, (2018), kecepatan angin di laut terbuka lebih kuat dibandingkan kecepatan angin di pesisir. Hal tersebut dikarenakan di laut terbuka tidak ada hambatan daratan yang mengurangi kecepatan angin. Begitupun sebaliknya kecepatan angin di pesisir lemah dikarenakan posisi area yang sedikit tertutup daratan. Ketika tegangan angin lemah, pencampuran vertikal dan suplai nutrisi menjadi tidak mencukupi, yang menyebabkan biomassa fitoplankton relatif rendah dan variasi klorofil-a tidak begitu nyata. Zhao *et al.* (2022), Selama periode angin lemah, stratifikasi kolom air menghambat pengangkutan nutrisi dari lapisan bawah, sehingga pertumbuhan fitoplankton lebih dipengaruhi oleh arus laut besar dan stratifikasi permukaan daripada upwelling lokal. Leenawarat *et al.* (2022), Klorofil-a di wilayah pesisir dipengaruhi oleh curah hujan dan aliran sungai. Sementara itu, klorofil-a di wilayah lepas pantai berkorelasi dengan SPL dan kecepatan angin. Konsentrasi klorofil-a di laut terbuka memiliki amplitudo variasi yang lebih kecil dibanding pada kawasan pesisir namun korelasi terhadap angin lebih tinggi.

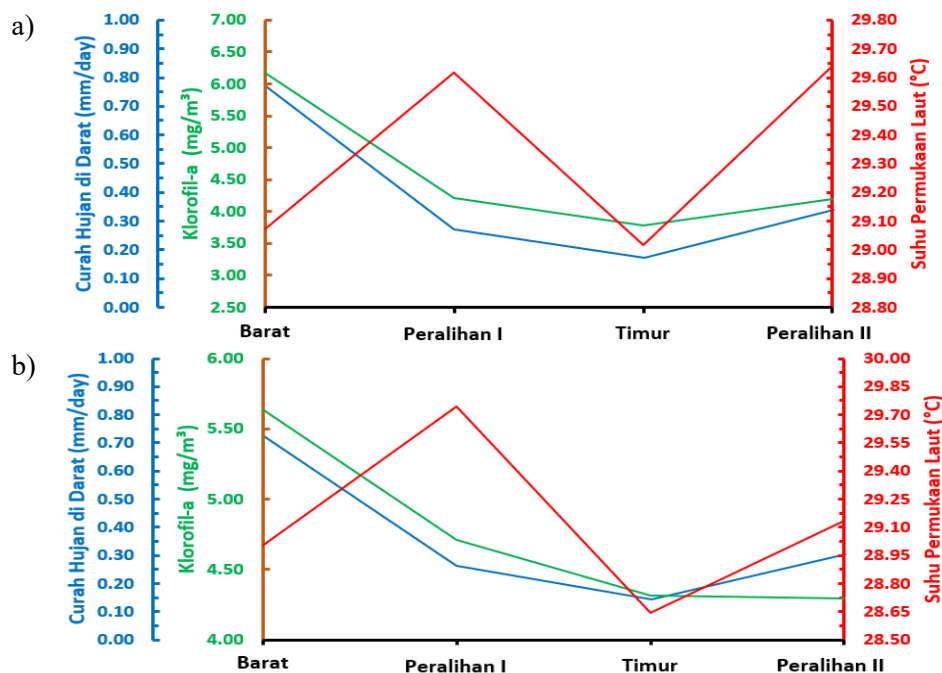
Hubungan antara klorofil-a dan curah hujan di laut cukup tinggi. Nilai korelasi antara klorofil-a dan curah hujan di laut pada area I, II, dan III adalah 0,939, 0,594, dan -0,104. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Arta *et al.*, (2016), bahwa konsentrasi klorofil-a tertinggi terjadi pada musim penghujan (Barat). Tingginya korelasi antara curah hujan di pesisir dan konsentrasi klorofil-a disebabkan oleh adanya keterkaitan antara presipitasi di wilayah laut pesisir dengan peningkatan curah hujan di daratan sekitarnya. Pada area uji III yang berada di laut lepas, curah hujan menunjukkan korelasi negatif dengan konsentrasi klorofil-a. Hal ini disebabkan oleh presipitasi yang langsung jatuh ke laut tanpa melalui daratan, sehingga tidak membawa suplai nutrisi tambahan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa di laut lepas, curah hujan memiliki pengaruh terbatas terhadap produktivitas perairan, sehingga konsentrasi klorofil-a cenderung lebih rendah dibandingkan wilayah pesisir.

Hubungan angin terhadap SPL memiliki nilai korelasi negatif. Pada area uji I-III secara berurutan nilai korelasi -0,896, -0,998, dan -0,845. Semakin kencang angin yang berhembus maka akan semakin kecil SPL, begitupun sebaliknya. Menurut Wirasatriya *et al.* (2017), tingginya kecepatan angin yang berhembus di permukaan perairan menyebabkan peningkatan pelepasan panas dari permukaan laut menuju atmosfer (evaporasi) sehingga menurunkan SPL. Selain itu menurut Bayhaqi *et al.* (2017), kecepatan angin yang berbeda akan berpengaruh terhadap kondisi perairan seperti intensitas penyerapan panas ke dalam air laut. Apabila kecepatan angin yang berhembus kencang maka akan menghalangi penyerapan panas matahari untuk masuk ke dalam air laut. Sehingga hubungan antara SPL dan kecepatan angin adalah berbanding terbalik. Apabila kecepatan angin yang berhembus semakin kencang maka SPL akan semakin kecil (dingin). Keterkaitan antara SPL dengan curah hujan yang terjadi di laut memiliki nilai korelasi negatif. Nilai korelasi antara SPL dan curah hujan di laut pada area I, II, dan III masing-masing sebesar -0,341, -0,147, dan -0,361, yang menunjukkan adanya hubungan negatif lemah antara kedua parameter tersebut.

Sebetulnya hubungan antara curah hujan dan SPL bersifat kompleks dan saling memengaruhi secara dinamis. peningkatan suhu rata-rata akan meningkatkan curah hujan (Selvarajah *et al.*, 2021). Hal ini disebabkan oleh kapasitas atmosfer yang lebih tinggi untuk menampung uap air di bawah kondisi suhu yang lebih hangat, sehingga meningkatkan kejadian curah hujan ketika kondensasi terjadi. Sebaliknya, peningkatan curah hujan juga dapat memengaruhi kondisi termal laut. Menurut Alfajri *et al.*, (2017), tinggi rendahnya SPL disebabkan oleh hujan yang turun di perairan (presipitasi). Semakin banyak volume air hujan yang turun di perairan maka akan menurunkan SPL. Hal tersebut dikarenakan Air hujan umumnya memiliki suhu yang lebih rendah dibandingkan air laut, sehingga saat hujan turun di atas perairan, terjadi proses pencampuran antara air hujan dan air laut. Air hujan umumnya memiliki suhu lebih rendah dibandingkan air laut, sehingga saat hujan turun di atas perairan, terjadi proses pencampuran antara air hujan dan air laut yang menyebabkan pendinginan lapisan permukaan. Dengan demikian, interaksi antara curah hujan dan SPL membentuk sistem umpan balik (*feedback system*) yang penting dalam dinamika atmosfer-laut di wilayah tropis seperti perairan utara Jawa.



Gambar 9. Area uji klorofil-a dan SPL dengan debit sungai akibat curah hujan di daratan

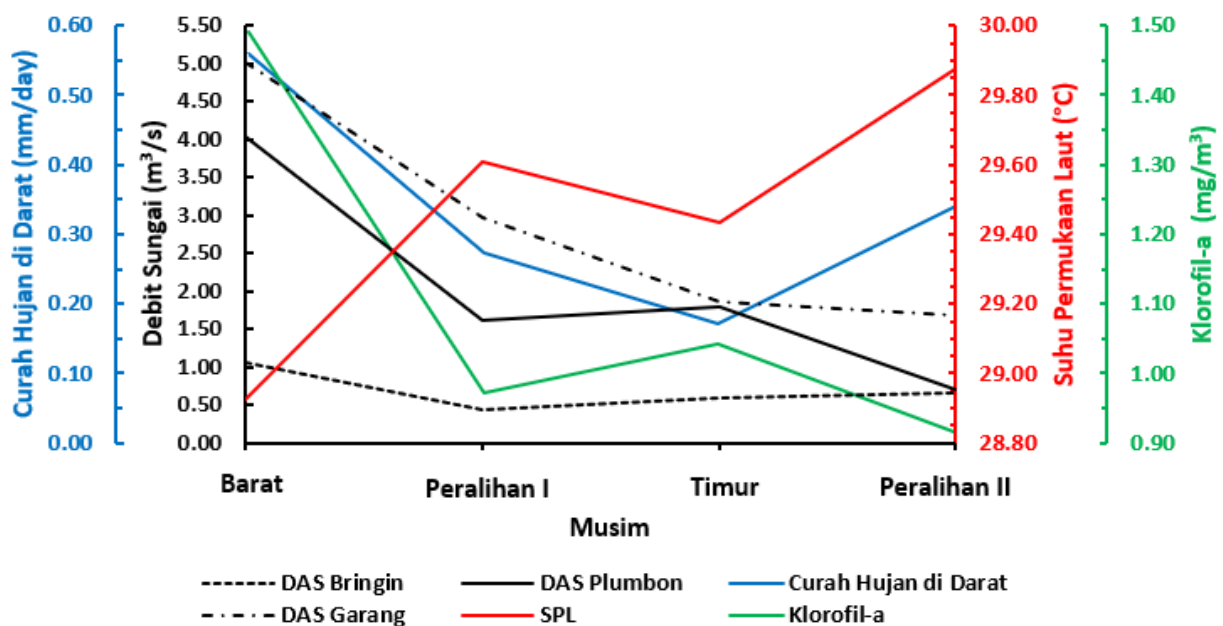


Gambar 10. Grafik hubungan SPL dan klorofil-a terhadap intensitas curah hujan di daratan terhadap musim (a) perairan Semarang, dan (b) perairan Cirebon

Berdasarkan Gambar 10, grafik yang terbentuk antara perairan Semarang dan perairan Cirebon memiliki bentuk serupa. Dari hasil korelasi yang telah dilakukan keterkaitan curah hujan di darat dengan SPL pada area I dan II adalah -0,301 dan -0,008. Sedangkan hasil korelasi yang telah dilakukan keterkaitan curah hujan di darat dengan klorofil-a pada area I dan II adalah 0,992 dan 0,936. Temuan ini menunjukkan bahwa curah hujan di daratan memiliki pengaruh negatif terhadap perubahan SPL, namun memberikan pengaruh yang signifikan positif terhadap peningkatan konsentrasi klorofil-a di perairan pesisir.

Tabel 2. Hasil korelasi musiman curah hujan di darat terhadap SPL dan klorofil-a di pesisir

	Korelasi Pearson	Curah Hujan (Darat)	SPL	Klorofil-a
Pesisir Semarang	Curah Hujan (Darat)	1,000		
	SPL	-0,301	1,000	
	Klorofil-a	0,992	-0,364	1,000
Pesisir Cirebon	Curah Hujan (Darat)	1,000		
	SPL	-0,008	1,000	
	Klorofil-a	0,936	-0,376	1,000

**Gambar 11.** Grafik hubungan intensitas curah hujan yang terjadi di darat terhadap debit DAS, SPL dan klorofil-a periode 2021**Tabel 3.** Korelasi DAS dan curah hujan (darat) terhadap SPL dan klorofil-a di Kota Semarang 2021

	Korelasi Pearson	Curah Hujan (Darat)	SPL	Klorofil-a
DAS Bringin		0,882	-0,774	0,907
DAS Plumbon		0,728	-0,987	0,981
DAS Garang		0,837	-0,865	0,912
Curah Hujan (Darat)		1,000	-0,624	0,811
SPL		-0,624	1,000	0,040
Klorofil-a		0,811	0,040	1,000

Selain itu dilakukannya pengolahan curah hujan darat dan debit sungai Kota Semarang terhadap klorofil-a dan SPL di perairan Semarang pada 2021 (Gambar 11 dan Tabel 3). Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan curah hujan di wilayah daratan Kota Semarang berhubungan erat dengan peningkatan debit pada DAS Garang, DAS Plumbon, dan DAS Bringin. Peningkatan debit sungai tersebut menyebabkan peningkatan

volume aliran air yang bermuara ke laut, sehingga memengaruhi kondisi oseanografi di wilayah pesisir. Aliran yang meningkat ke wilayah pesisir dapat menurunkan SPL di daerah tersebut. Byrne *et al.* (2023) menjelaskan bahwa ketika perairan pesisir menerima volume air tawar yang besar dari aliran sungai, tingkat salinitas mengalami penurunan, dan perbedaan densitas yang dihasilkan menyebabkan suhu permukaan laut (SPL) cenderung menurun. Selain itu, masuknya air sungai secara intens akibat peningkatan curah hujan menghasilkan konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi di perairan pesisir (Song *et al.*, 2020). Sebaliknya, pada saat curah hujan di daratan menurun, debit aliran sungai relatif kecil sehingga suplai air tawar dan nutrisi ke laut berkurang. Kondisi ini menyebabkan perubahan SPL yang tidak terlalu signifikan dan peningkatan klorofil-a yang relatif rendah dibandingkan periode dengan curah hujan tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa curah hujan di daratan dan debit sungai berperan penting dalam mengontrol dinamika termal dan produktivitas primer di perairan pesisir Semarang. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengolahan korelasi pada Tabel 3, dimana nilai korelasi antara curah hujan di Kota Semarang dengan debit sungai pada DAS Bringin, DAS Plumbon, dan DAS Garang adalah 0,882, 0,728, dan 0,837. Korelasi SPL dengan debit sungai pada DAS Bringin, DAS Plumbon, dan DAS Garang adalah -0,774, -0,987, -0,865. Sedangkan korelasi klorofil-a dengan debit sungai pada DAS Bringin, DAS Plumbon, dan DAS Garang adalah 0,907, 0,981, dan 0,912.

Dugaan tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Kunarso *et al.*, (2012), semakin besar intensitas hujan yang terjadi di daratan maka akan lebih banyak air yang mengalir ke muara yang membawa lebih banyak unsur hara dan nutrisi dari kawasan darat. Selain itu penelitian Muhammad *et al.*, (2021), menjelaskan pula curah hujan akan meningkatkan *run-off* sungai yang mengandung nutrisi yang cukup tinggi. Semakin besar intensitas hujan yang terjadi maka akan lebih banyak air yang mengalir ke muara dan kemungkinan akan semakin membawa lebih banyak unsur hara dan nutrisi dari kawasan darat. Hal ini diperkuat oleh Kunarso *et al.*, (2019), bahwa curah hujan menyebabkan *run-off* sungai meningkat yang mengandung nutrisi yang tinggi, hal ini akan memicu pertumbuhan fitoplankton. Selain itu hubungan antara kedua parameter tersebut adalah berbanding lurus. Dimana nutrisi yang diangkut aliran sungai menuju laut tinggi akan meningkatkan konsentrasi klorofil-a di perairan.

KESIMPULAN

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa dinamika spasio-temporal klorofil-a dan SPL di perairan utara Jawa sangat dipengaruhi oleh interaksi antara curah hujan, angin monsun, dan limpasan daratan. Di wilayah pesisir, pengaruh hujan darat dan debit sungai lebih dominan terhadap peningkatan klorofil-a, sementara di laut lepas, variabilitas SPL dan angin menjadi pengontrol utama. Hubungan negatif antara SPL dan klorofil-a serta hubungan positif antara curah hujan dan klorofil-a menunjukkan keterkaitan erat antara atmosfer dan produktivitas perairan tropis. Temuan ini menegaskan bahwa perubahan pola hujan musiman dan sirkulasi angin di kawasan monsun dapat memengaruhi keseimbangan ekosistem pesisir utara Jawa. Penelitian ini menggunakan data hasil komposit bulanan selama 15 tahun (2007–2021), pendekatan ini memberikan kestabilan data dalam mengidentifikasi pola spasio-temporal jangka panjang, namun memiliki keterbatasan dalam menangkap dinamika harian atau peristiwa jangka pendek. Oleh karena itu, hasil penelitian ini lebih merepresentasikan pengaruh curah hujan terhadap penurunan SPL, tetapi belum mampu menunjukkan hubungan timbal balik yang kompleks di mana SPL juga dapat memengaruhi pembentukan curah hujan. Selain itu, data debit sungai hanya tersedia untuk tahun 2021 karena keterbatasan data yang diberikan oleh Balai Besar Wilayah Sungai Pemali–Juana, sehingga analisis korelasi yang melibatkan debit sungai hanya menggambarkan kondisi hidrologi tahun tersebut dan tidak mewakili tren klimatologi selama 15 tahun. Keterbatasan lainnya adalah perbedaan resolusi spasial antar-sensor yang digunakan. Penelitian ini tidak melakukan *regridding* atau *resampling* ke resolusi yang seragam, sehingga perbandingan antarvariabel hanya dilakukan dalam bentuk rata-rata kawasan dan bukan pada tingkat piksel. Oleh karena itu, penelitian ini tidak dapat mengevaluasi hubungan spasial detail antarparameter, dan interpretasi hasil lebih mencerminkan dinamika skala regional daripada variasi spasial beresolusi tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pemali–Juana atas dukungan dan kerjasama yang diberikan melalui penyediaan data debit sungai tahun 2021. Penelitian ini merupakan bagian dari tugas akhir di Program Studi Oseanografi dan didukung oleh penelitian dengan Nomor Kontrak: 222-645/UN7.D2/PP/IV/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfajri, A., Mulyadi, A., & Mubarak, M. 2017. Analisis Spasial dan Temporal Sebaran Suhu Permukaan Laut di Perairan Sumatera Barat. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 4(1): 65-74. <https://doi.org/10.31258/dli.4.1.p.65-74>
- Arta, F.H., Mubarak, M., & Nasution, S. 2016. Sebaran Klorofil-a di Perairan Pantai Padang dan Pariaman Provinsi Sumatera Barat Menggunakan Citra Satelit Aqua Modis. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(2): 128-137. <http://dx.doi.org/10.31258/jil.10.2.p.128-137>
- Bai, H., Mao, K., Zhang, Y., Zhao, Y., Ren, X., Hu, H., & Yang, X. 2023. The Impacts of East China Sea Kuroshio Front on Winter Heavy Precipitation Events in Southern China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 128(4): e2022JD037341. <https://doi.org/10.1029/2022jd037341>
- Bayhaqi, A., Iskandar, M. R., & Surinati, D. 2017. Pola Arus Permukaan dan Kondisi Fisika Perairan di Sekitar Pulau Selayar pada Musim Peralihan 1 dan Musim Timur. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 2(1): 83-95. <https://doi.org/10.14203/oldi.2017.v2i1.71>
- Byrne, S. M., Gershunov, A., Flick, R. E., Carter, M. L., Merrifield, M. A., Giddings, S. N., & Cayan, D. R. 2023. Southern California winter precipitation variability reflected in 100-year ocean salinity record. *Communications Earth & Environment*, 4(1): 177. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00803-8>
- Handoko. 1995. *Klimatologi Dasar: Landasan Pemahaman Fisika Atmosfer dan Unsur-Unsur Iklim*. Dunia Pustaka Jaya, Jakarta. 223 pp.
- Kunarso, K., Helmi, M., Satriadi, A., Irwani, I., Prayogi, H., Wirasatriya, A., & Munandar, B. 2019. Impact of Climate Variability to Aquatic Productivity and Fisheries Resources in Jepara Waters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 246(1): 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/246/1/012021>
- Kunarso, K., Ningsih, N., Hadi, S., & Baskoro, M. 2012. Variabilitas Suhu dan Klorofil-a di Daerah Upwelling pada Variasi Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 16(3): 171-180. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.16.3.171-180>
- Leenawarat, D., Ishizaka, J., Buranapratheprat, A., & Luang-On, J. 2022. Influences of tropical monsoon and El Niño Southern Oscillations on surface chlorophyll-a variability in the Gulf of Thailand. *Frontiers in Climate*, 4: 936147. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.936147>
- Masotti, I., Belmar, L., Yevenes, M. A., Garreaud, R., Farías, L., & Aparicio-Rizzo, P. 2018. The Influence of River Discharge on Nutrient Export and Phytoplankton Biomass Off the Central Chile Coast (33°–37°S): Seasonal Cycle and Interannual Variability. *Frontiers in Marine Science*, 5: 423. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00423>
- Muhammad, A., Marwoto, J., Wulandari, S. Y., Maslukah, L., & Kunarso, K. 2021. Sebaran Spasial dan Temporal Klorofil-a di Perairan Teluk Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(3): 262-270. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i3.11588>
- Mutia, D., Carpenter, S., Jacobs, Z., Jebri, F., Kamau, J., Kelly, S. J., Kimeli, A., Langat, P. K., Makori, A., Nencioli, F., Painter, S. C., Popova, E., Raitsos, D., & Roberts, M. 2021. Productivity driven by Tana river discharge is spatially limited in Kenyan coastal waters. *Ocean & Coastal Management*, 211: 105713. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105713>
- Selvarajah, H., Yamamoto, A., Kitsuregawa, M., Tamakawa, K., Koike, T., Rasmy, M., & Zhou, L. 2021. Development of an Integrated Approach for the Assessment of Climate Change Impacts on the Hydro-Meteorological Characteristics of the Mahaweli River Basin, Sri Lanka. *Water*, 13(9): 1218. <https://doi.org/10.3390/w13091218>
- Song, X., Gu, Y., Chen, Y., Wu, W., Liu, Z., Jiang, X., He, J., Liu, P., Zhai, F., & Li, P. 2020. Climatology and seasonal variability of satellite-derived chlorophyll a around the Shandong Peninsula. *Journal of Oceanology and Limnology*, 39(4): 1222-1244. <https://doi.org/10.1007/s00343-020-0249-5>
- Sugiyono. 2014. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta, Bandung. 334 pp.
- Susilokarti, D., Arif, S. S., Sutiarso, L., & Susanto, S. 2015. Identifikasi Perubahan Iklim Berdasarkan Data Curah Hujan di Wilayah Selatan Jatiluhur Kabupaten Subang, Jawa Barat. *Jurnal Agritech*, 35(1): 98-106. <https://doi.org/10.22146/agritech.13038>
- 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>

- Wirasatriya, A., Triyono, C. D., Muslim, M., Maslukah, L., & Prasetyawan, I. B. 2018. Effect of ENSO on the variability of SST and Chlorophyll-a in Java Sea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 116(1): 012063. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/116/1/012063>
- Zhao, Z., Oey, L., Lu, W., Jiang, Y., & Huang, B. 2022. Off-Coast Phytoplankton Bloom in the Taiwan Strait During the Northeasterly Monsoon Wind Relaxation Period. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(9): e2022JC018752. <https://doi.org/10.1029/2022jc018752>