

**ANALISIS VARIABILITAS SEBARAN KLOROFIL-A PADA LOKASI BONGKAR MUAT BATUBARA DI PERAIRAN ACEH BARAT DAN NAGAN RAYA MENGGUNAKAN CITRA AQUA MODIS DAN KAITANNYA DENGAN ARUS**  
**ANALYSIS OF CHLOROPHYLL-A DISTRIBUTION VARIABILITY AT COAL LOADING AND UNLOADING SITES IN WEST ACEH AND NAGAN RAYA WATERS USING AQUA MODIS IMAGERY AND ITS RELATIONSHIP WITH CURRENTS**

Ika Kusumawati<sup>1\*</sup>, Mai Suriani<sup>1</sup>, Jihannuma Adibiah Nurdini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Teuku Umar, Jl. Alu Peunyareng, Kec. Meureubo, Kab. Aceh Barat, Aceh 23615

<sup>2</sup> Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura, Jl. Raya Telang, Kec. Kamal, Kab. Bangkalan, Jawa Timur 69162

\*Corresponding author email: [ikakusumawati@utu.ac.id](mailto:ikakusumawati@utu.ac.id)

Submitted: 21 April 2025 / Revised: 06 May 2025 / Accepted: 07 May 2025

<http://doi.org/10.21107/jk.v18i1.29777>

**ABSTRAK**

Klorofil- a adalah salah satu dari beberapa pigmen hijau yang terkait fitoplankton yang digunakan sebagai indikator kesuburan perairan. Pengukuran zat ini dilakukan dengan dua cara, salah satunya dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi klorofil-a dalam kaitannya dengan kondisi arus laut di perairan Aceh Barat dan Nagan Raya. Penelitian ini menggunakan metode penginderaan jauh dengan menggunakan citra satelit Aqua MODIS, citra yang digunakan merupakan citra Standard Mapped Image (SMI) klorofil-a Level 3 dengan rentang waktu 11 tahun mulai tahun 2011 hingga 2021 dan mempunyai resolusi spasial 4 km. Gambar diolah menggunakan software yaitu SeaDAS dan ArcMap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran konsentrasi klorofil-a tahunan tertinggi terjadi pada tahun 2021 sebesar 2,07–4,86 mg/m<sup>3</sup>, dan konsentrasi klorofil-a terendah pada tahun 2011 berkisar antara 0,94–3,01 mg/m<sup>3</sup>. Faktor abiotik yang dipertimbangkan pengaruhnya terhadap distribusi konsentrasi klorofil-a adalah arus laut.

**Kata Kunci:** Klorofil -a, Batubara, Aceh Barat, Arus, Aqua MODIS

**ABSTRACT**

Chlorophyll-A is one of several phytoplankton-associated green pigments that are used as indicators of water fertility. Measurement of this substance is done in two ways, one of which is by using remote sensing technology. This study aims to analyse chlorophyll-a concentration and current conditions in the waters of West Aceh and Nagan Raya. This research uses remote sensing methods using Aqua MODIS satellite imagery, the image used is an annual Standard Mapped Image (SMI) Level 3 chlorophyll-a image with a time span of 11 years from 2011 to 2021 and has a spatial resolution of 4 km. Images were processed using software namely SeaDAS and ArcMap. The results showed that the highest annual chlorophyll-a concentration distribution occurred in 2021 at 2.07-4.86 mg/m<sup>3</sup>, and the lowest chlorophyll-a concentration in 2011 ranging from 0.94-3.01 mg/m<sup>3</sup>. The abiotic factor considered to influence the distribution of chlorophyll-a concentration is ocean currents.

**Keywords:** Chlorophyll-a, Coal, Aceh Barat, Currents, Aqua MODIS

**PENDAHULUAN**

Aceh Barat mempunyai luas daratan 2.927,95 km<sup>2</sup> dengan wilayah laut memanjang 12 mil seluas 957,38 km<sup>2</sup>, serta garis pantai 54,84 km (Irsadi, 2018). Luasnya lautan dan panjangnya garis pantai menunjukkan betapa pentingnya laut bagi Aceh

Barat. Sebagian besar masyarakat Aceh Barat bergantung pada laut sebagai mata pencaharian seperti mencari ikan, serta sebagai jalur transportasi laut yang menghubungkan Aceh Barat dengan pulau dan kota lain. Kabupaten Aceh Barat dan

Nagan Raya memiliki berbagai sektor industri, salah satunya yang cukup tinggi adalah industri batubara (Jullimursyida *et al.*, 2017). Kegiatan bongkar muat batubara yang dilakukan di perairan sekitar yaitu pemindahan batubara ke kapal induk, dan kegiatan ini dapat mempengaruhi kesuburan perairan tersebut, salah satunya akibat meningkatnya suhu air permukaan, yang berimbas pada menurunnya kualitas habitat plankton (Sutama *et al.*, 2018). Selain itu, merujuk pada penelitian Nurdini *et al.* (2024), kegiatan bongkar muat di pelabuhan juga menimbulkan adanya pencemaran logam berat yang terdistribusi di perairan laut sekitar, seperti pencemaran timbal (Pb) yang secara alami terkandung pada batubara. Dimana konsentrasi klorofil-a cenderung menurun seiring meningkatnya konsentrasi timbal (Pb) (Ali *et al.*, 2021).

Pemantauan ekologi penting untuk dilakukan sebagai bagian upaya pengelolaan perairan suatu wilayah. Salah satu upaya pemantauan ekologi adalah analisis kesuburan perairan. Analisis ini dapat ditinjau dari konsentrasi penyebaran klorofil-a. Klorofil-a merupakan pigmen yang terdapat pada fitoplankton dan terlibat langsung dalam proses fotosintesis. Fitoplankton pada perairan berperan sebagai produsen primer. Diketahui bahwa besar konsentrasi klorofil-a dapat menjadi indikator kualitas suatu perairan (Trevor *et al.*, 1998) dan tingkat kesuburan suatu perairan (Gupta, 2014).

Penggunaan *remote sensing* atau penginderaan jauh dapat dilakukan pada kegiatan pemantauan kualitas perairan dengan keunggulan real-time, efektif dan efisien. Penggunaan citra Aqua MODIS dalam penelitian berikut berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Shutler (2007) mengemukakan terkait perbedaan konsentrasi klorofil-a yang diperoleh dari hasil pengolahan citra satelit Aqua MODIS dan citra Terra. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa jika dibandingkan dengan data lapangan maka Aqua MODIS memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ )

Penelitian ini menggunakan data hasil pengolahan citra satelit Aqua MODIS yaitu citra klorofil-a Level 3 (data produk Standard Mapped Image) setiap tahunnya dengan rentang waktu 11 tahun yaitu dari tahun 2011 hingga tahun 2021. Selain itu citra yang digunakan adalah citra satelit Aqua MODIS . gambar dengan resolusi spasial 4 km. Gambar itu dapat diunduh secara gratis dari laman situs NASA Ocean Color, <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

Konsentrasi klorofil-a dihitung dan diekstraksi menggunakan aplikasi Seadas versi 7.5.3. Langkah pertama yang dilakukan adalah memperbaiki tampilan gambar dengan metode

lebih besar dibandingkan citra Terra yang masing-masing bernilai 77,57% dan 72,34%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan data klorofil-a yang lebih baik dapat menggunakan citra dari satelit Aqua MODIS karena mempunyai koefisien determinasi yang tinggi.

Pola umum variasi musiman arus di perairan barat pulau Sumatera menunjukkan adanya perubahan kecepatan dan arah arus yang terkait dengan musim angin. Pada musim barat, arus cenderung mengalir dari barat ke timur akibat pengaruh angin barat, sedangkan pada musim timur, arah arus bisa berubah dan kecepatan arus berkurang. Arus mempunyai peranan penting dalam proses hidrodinamika di lautan. Arus laut akan mempengaruhi pergerakan massa air. Pergerakan massa air kemudian juga akan mempengaruhi distribusi klorofil-a dan bahan lainnya. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian mengenai sebaran klorofil-a yang dipengaruhi oleh arus laut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi klorofil-a setiap tahunnya di sekitar perairan Aceh Barat dan Nagan Raya dengan menggunakan citra Aqua MODIS selama kurun waktu 11 tahun yaitu tahun 2011 – 2021.

## MATERI DAN METODE

### Lokasi Penelitian

Kajian ini dilaksanakan di Kabupaten Aceh Barat meliputi dua kecamatan yaitu Kecamatan Johan Pahlawan dan Meurebo yang berada di pesisir barat-selatan Aceh. Stasiun 1, 2, dan 3 berada di wilayah Kecamatan Johan Pahlawan, sedangkan stasiun 4 dan 5 kecamatan berada di kecamatan Meurebo, dan 6 dan 7 berada di Desa Pesisir Nagan Raya. Stasiun 2 merupakan Pelabuhan Jetty yang merupakan lokasi pelabuhan lama tempat pembongkaran batu bara, sedangkan stasiun 6 adalah Pelabuhan yang merupakan lokasi pelabuhan baru tempat pembongkaran batu bara (**Gambar 1**).

### Pengolahan dan Analisis Data

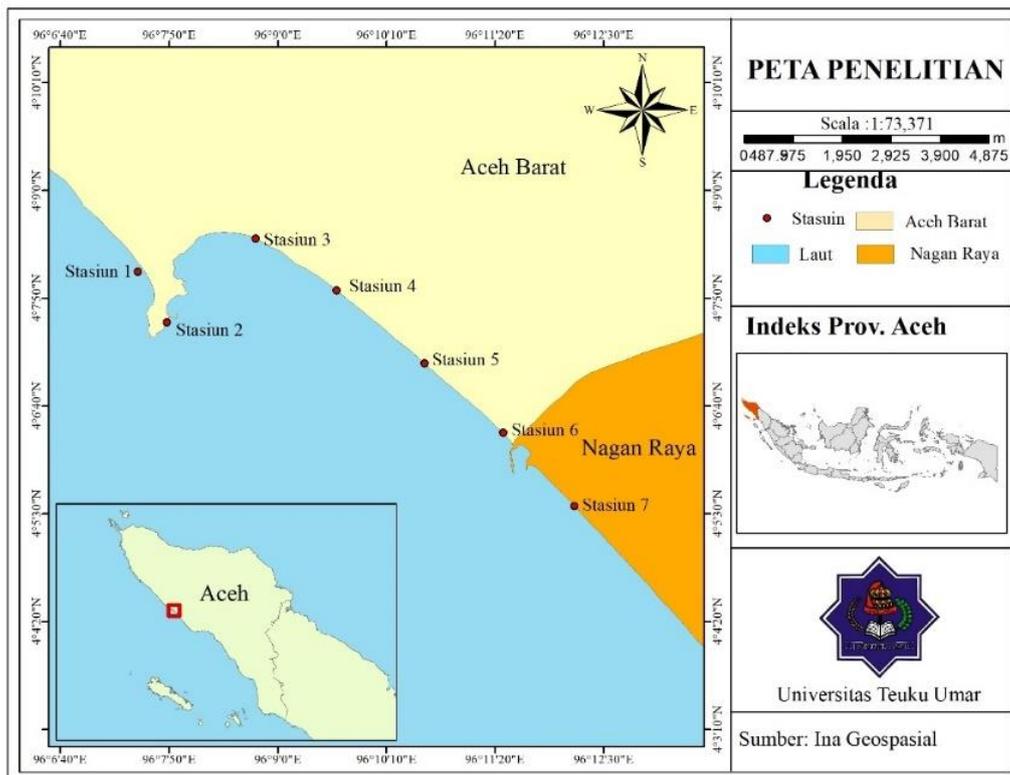
insert *garis pantai* dan *landmark*. Kemudian dilakukan ekstraksi konsentrasi klorofil-a pada citra Aqua MODIS dalam format *dokumen teks* (.txt). Selanjutnya data tersebut diubah ke dalam format file Excel menggunakan *Microsoft Excel* 2010. Terakhir dilakukan pemetaan sebaran klorofil-a dengan metode *layouting* menggunakan ArcGIS versi 10.7.1.

Data model terkini periode 2011 dan 2021 pada bulan Februari dan Agustus diperoleh dari laman situs <http://MyOcean.eu>. Bulan Agustus mewakili musim Timur dan Februari mewakili musim Barat. Data yang digunakan adalah model terkini dengan kedalaman 0 – 1 meter dan resolusi

1/12 derajat. Data ini merupakan hasil pemodelan menggunakan NEMO 3.1 (Nucleus for European Models of the Ocean) dan LIM2 (Louvain Sea Ice Model 2). Data masukan berupa gaya atmosfer yang diperoleh dari data atmosfer ECMWF, perhitungan dan metode peramalan menggunakan rumus empiris.

Tahapan pengolahan citra arus laut diawali dengan pengunduhan dan ekstraksi data model arus laut yang didapat dari MyOcean berdasarkan parameter arus permukaan, yaitu komponen vektor zonal U dan meridional V. Selanjutnya data NetCDF dikonversi ke dalam format yang telah diolah, misalkan ASCII atau

GeoTIFF menggunakan software ArcGIS. Berikutnya dilakukan visualisasi vektor arus dengan cara menggabungkan komponen U dan V agar arah dan kecepatan arus dapat terlihat jelas. Dilanjutkan tahapan analisis spasial untuk mengidentifikasi adanya perubahan pola arus laut pada musim Barat dan Timur. Pada tahap terakhir adalah interpretasi hasil dengan memperhatikan dinamika arus permukaan laut pada tahun dan musim, serta memperkirakan adanya pengaruh dinamika tersebut terhadap kondisi oseanografi di pesisir, terutama yang berkaitan dengan pola sebaran klorofil-a sebagai indikator produktifitas primer plankton.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Konsentrasi Klorofil-a Tahunan (2011 -2021)**

Hasil analisis konsentrasi klorofil-a tahunan di perairan Aceh Barat dan Nagan Raya menggunakan hasil olahan citra satelit Aqua MODIS menggunakan software SeaDAS 7.5.3 menunjukkan adanya variasi konsentrasi klorofil-a dari tahun 2011 hingga tahun 2021. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran konsentrasi klorofil-a tahunan tertinggi pada tahun 2021 pada kisaran nilai 2,07 – 4,86 mg/m<sup>3</sup>, dan konsentrasi terendah klorofil-a pada tahun 2011 berkisar antara 0,94 – 3,01 mg/m<sup>3</sup>.

Berdasarkan diagram batang pada Gambar 2 dan pemodelan pada Gambar 3 dapat

disimpulkan bahwa konsentrasi klorofil-a tahunan di perairan Aceh Barat dan Nagan Raya cenderung stabil. Konsentrasi klorofil-a pada tahun 2011 terbesar hingga 3,01 mg/m<sup>3</sup>, pada tahun 2012 ditemukan peningkatan konsentrasi klorofil-a hingga 3,57 mg/m<sup>3</sup>, meningkat di tahun 2013 hingga konsentrasinya 4,00 mg/m<sup>3</sup>, pada tahun 2014 dan 2015 konsentrasi klorofil-a mengalami penurunan konsentrasi hingga bernilai 3,98 mg/m<sup>3</sup> dan 3,86 mg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi klorofil-a pada perairan tersebut mengalami peningkatan kembali pada tahun 2016 dan 2017 dengan nilai konsentrasi klorofil-a 4,22 mg/m<sup>3</sup> dan 4,58 mg/m<sup>3</sup>. Namun pada tahun 2018 dan tahun 2019 konsentrasi klorofil-a di bawah air menurun menjadi 3,99 mg/m<sup>3</sup> dan

3,59 mg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi klorofil-a pada tahun 2020 dan 2021 mengalami peningkatan hingga bernilai konsentrasi 4,02 mg/m<sup>3</sup> dan 4,86 mg/m<sup>3</sup>. Kesimpulan hasil pengolahan data citra dari 2011 hingga 2021, menunjukkan bahwa nilai

konsentrasi klorofil-a selama 11 tahun di perairan Aceh Barat berada pada kisaran terendah 3,01 mg/m<sup>3</sup> sedangkan tertinggi 4,86 mg/m<sup>3</sup>.



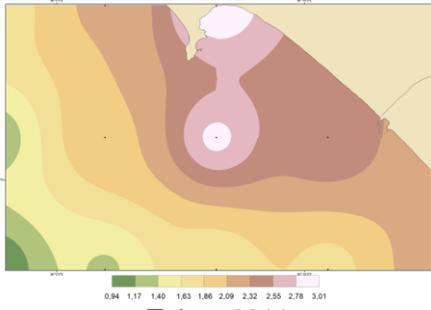
**Gambar 2.** Diagram Data Konsentrasi Klorofil-A di Perairan Aceh Barat dan Nagan Raya

Hasil penelitian ini tidak jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan Mursyidin dan Yuswardi (2017) di sekitar perairan Aceh menggunakan citra satelit Aqua Modis perekaman bulan Juni hingga Oktober 2010 yang berkisar 0,08 mg/m<sup>3</sup> hingga 1,20 mg/m<sup>3</sup>. Namun, hasil penelitian ini tergolong rendah dibandingkan hasil penelitian Kumalawati (2004) di perairan Aceh pada tahun 2002 dimana diperoleh konsentrasi klorofil-a sebesar 1,5 –3,4 mg/m<sup>3</sup>. Perbedaan konsentrasi klorofil-a berkaitan dengan perbedaan kondisi hidro oseanografi dari masing-masing perairan. Hal ini didukung oleh Semedi dan Safitri (2015) yang menyatakan bahwa sebaran klorofil-a dipengaruhi oleh kondisi oseanografis diantaranya kecepatan arus (Manggala, 2013) dan oksigen terlarut. Selain itu, masukan nutrient ke masing-masing perairan dari aktivitas di daratan sekitarnya juga sangat mempengaruhi sebaran konsentrasi klorofil-a (Fitriya *et al.*, 2011).

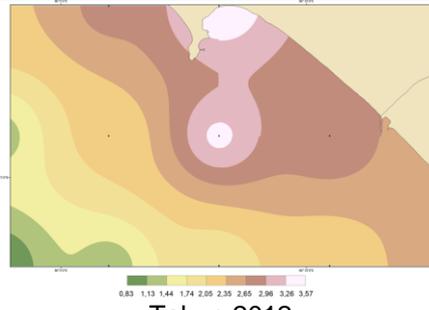
Konsentrasi klorofil-a dapat dijadikan sebagai indikator dalam penentuan status trofik suatu perairan (Linus *et al.*, 2016) dan dapat dijadikan sebagai salah satu indikator dalam penentuan tingkat kesuburan suatu perairan (Tambing,

2024). Berdasarkan kategori konsentrasi klorofil-a oleh Vollenweider *et al.* (1998), maka dapat disimpulkan bahwa perairan Aceh Barat tergolong kedalam perairan oligotrofik hingga mesotrofik. Anugerah (2023) menyatakan bahwa perairan oligotrofik adalah perairan yang mempunyai kandungan nutrient dan produktivitas rendah. Sedangkan perairan mesotrofik merupakan perairan dengan kandungan nutrient dan produktivitas primer yang rendah (Bachtiar, 2024).

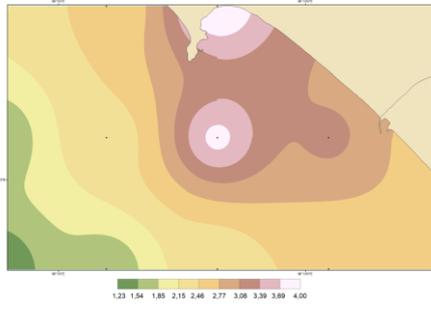
Nilai konsentrasi klorofil-a dipengaruhi oleh faktor fisika dan kimia perairan serta faktor biologi. Ketidakstabilan konsentrasi klorofil-a disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya adalah faktor oseanografi sesuatu perairan (Hatta, 2016), misalnya suhu (Sidik *et al.*, 2015), pencampuran massa air dan sirkulasi massa air (Rashid, 2019). Selain itu, curah hujan juga diketahui dapat mempengaruhi konsentrasi klorofil-a. Hal ini didukung oleh Kunarso (2011) yang menyatakan bahwa terjadi peningkatan kandungan unsur hara terlarut dapat disebabkan oleh adanya peningkatan curah hujan yang mengangkut unsur hara ke laut melalui muara sungai.



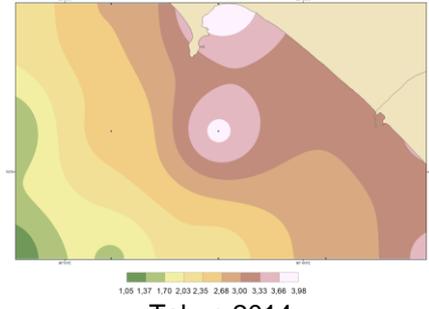
Tahun 2011



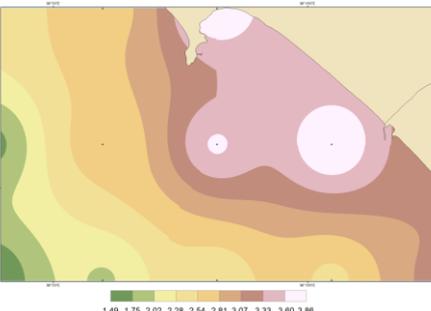
Tahun 2012



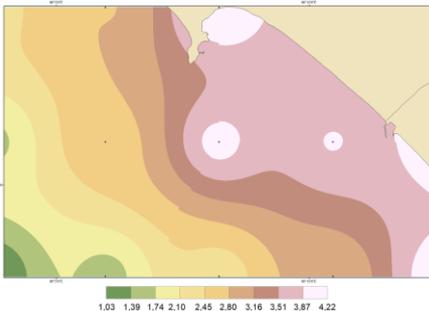
Tahun 2013



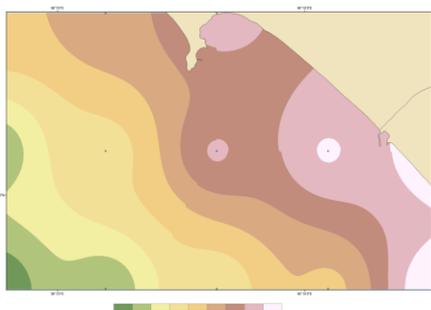
Tahun 2014



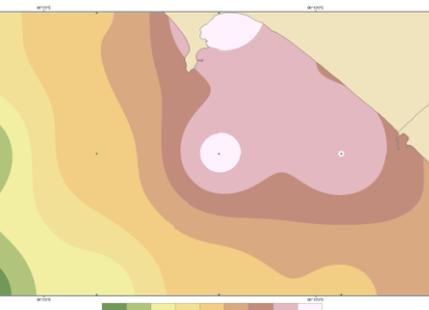
Tahun 2015



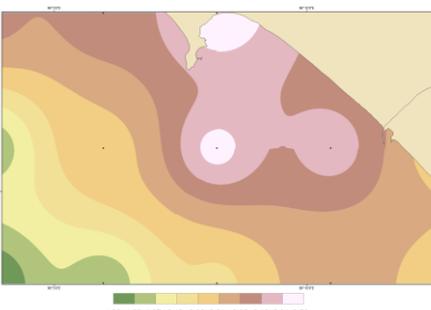
Tahun 2016



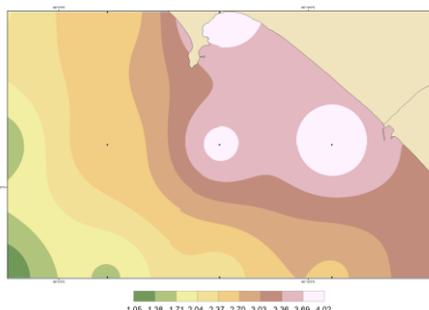
Tahun 2017



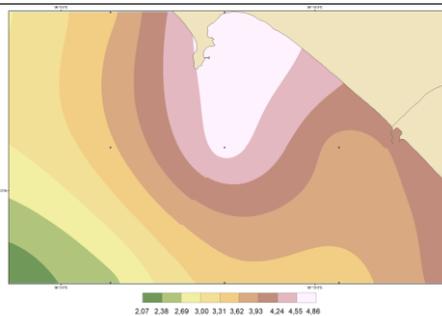
Tahun 2018



Tahun 2019



Tahun 2020



Tahun 2021

**Gambar 3.** Penyebaran klorofil-a di perairan Aceh Barat dan Nagan Raya

Kabupaten Aceh Barat dan Nagan Raya sendiri memiliki beberapa sungai yang mengalir ke laut diantaranya yaitu Krueng Meurebo. Selain itu menurut Ratnasari (2016) konsentrasi klorofil-a itu sendiri bisa sebagai cerminan biomassa fitoplankton dan berperan penting dalam menentukan status trofik sesuatu air dan determinan tingkat kesuburan perairan. Umumnya sebaran konsentrasi klorofil-a di perairan pantai sebagai akibat dari suplai nutrisi yang berasal dari daratan melalui limpasan air sungai, sebaliknya cenderung rendah di daerah lepas pantai. Meskipun demikian pada beberapa tempat masih ditemukan konsentrasi klorofil-a yang cukup tinggi, meskipun jauh dari daratan. Keadaan tersebut disebabkan oleh adanya proses sirkulasi massa air yang memungkinkan terangkutnya sejumlah nutrisi dari tempat lain, seperti yang terjadi pada daerah arus naik (Arifin, 2009). Menurut Nababan (2009), konsentrasi klorofil-a yang tinggi pada Musim Barat diduga berkaitan erat dengan curah hujan yang tinggi, serta kemungkinan terjadinya pencampuran massa air vertikal (*upwelling*).

Menurut penelitian Linus (2016), kesuburan air biasanya dikaitkan dengan konsentrasi unsur hara dalam badan air. Tinggi rendahnya kandungan klorofil-a berkaitan dengan penyediaan unsur hara yang berasal dari darat melalui sungai. Proses fotosintesis dipengaruhi oleh konsentrasi klorofil-a dan intensitas cahaya matahari. Nilai produktivitas primer dapat digunakan sebagai indikasi tingkat kesuburan suatu ekosistem perairan. Klorofil-a merupakan pigmen hijau yang dapat ditemukan pada alga, tumbuhan, dan cyanobacteria. Klorofil-a merupakan pigmen aktif pada sel tumbuhan yang mempunyai peranan penting dalam proses fotosintesis di dalam air yang dapat digunakan sebagai indikator kesuburan air (Pareek, 2018).

Berdasarkan kategori konsentrasi klorofil-a oleh Vollenweider (1998) dapat disimpulkan bahwa perairan Aceh Barat dan Nagan Raya tergolong *perairan oligotrofik*. Penelitian Ramadhanty (2020) menyatakan bahwa perairan oligotrofik adalah perairan yang mengandung unsur hara dan produktivitas rendah. Perairan oligotrofik ditandai dengan perairan yang jernih dimana hal ini menunjukkan aktivitas manusia yang minim.

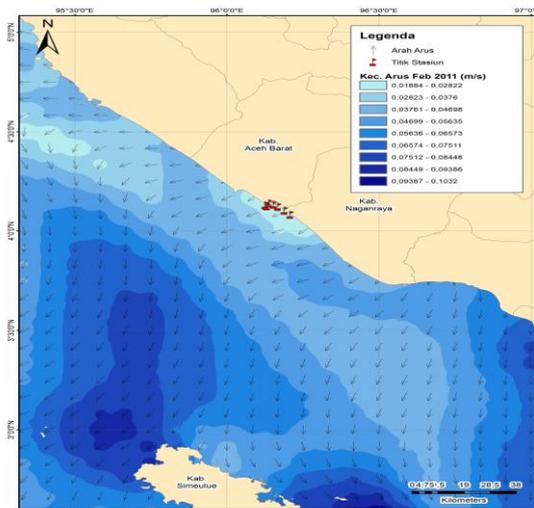
### Pola Arus Laut

Hasil pemodelan arah dan kecepatan arus pada lokasi penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3 merupakan data arah dan kecepatan arus pada bulan Februari dan Agustus tahun 2011, serta pada bulan Februari dan Agustus di tahun 2021. Arus laut yang terjadi di perairan Aceh Barat dan Nagan Raya merupakan arus laut yang ditimbulkan oleh sistem monsun Asia-Australia (Wyrtki, 1961). Pemilihan dua bulan tersebut untuk mengindikasikan pergerakan angin musim barat (Februari) dan angin musim timur (Agustus). Angin musim barat (muson barat daya) adalah angin yang bertiup dari samudera Hindia dan Asia ke arah Australia, melewati Indonesia, massa udara muson barat daya dibanding muson tenggara lebih banyak mengandung uap air sehingga mengakibatkan terjadinya curah hujan tinggi di Indonesia (Tukidi, 2010). Angin musim barat pada umumnya terjadi pada kurun bulan November – Maret (Ardi *et al.*, 2020). Selanjutnya angin musim timur (muson tenggara). Angin ini berasal dari benua Australia dan bergerak menuju Asia melalui wilayah Indonesia, membawa udara kering dan hangat ke wilayah Indonesia (Purwanto *et al.*, 2021) terutama selama musim kemarau. Angin musim timur pada umumnya bertiup pada rentang bulan Juni - Agustus (Adi Mulsandi *et al.*, 2024), dalam penelitian lain disebutkan angin musim timur bertiup pada kurun bulan April – September (Dida *et al.*, 2022).

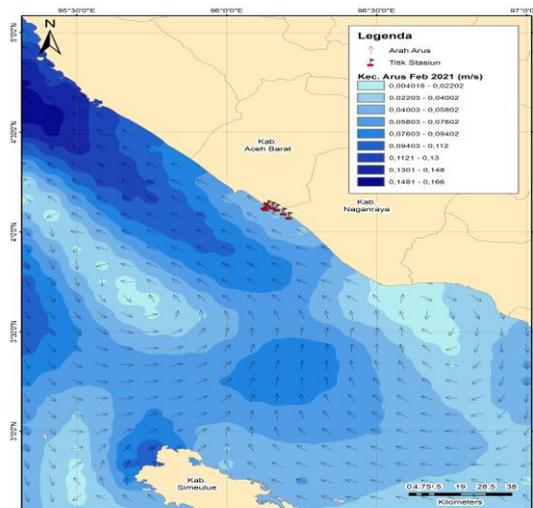
Berdasarkan hasil arah arus laut pada Gambar 3 terlihat perbedaan pergerakan arus laut pada bulan Februari 2011 dan 2021, serta perbedaan pada bulan Agustus 2011 dan 2021. Pada Februari 2011, arus yang semula bergerak ke arah barat, kemudian berbelok mengarah ke selatan menjauh dari garis pantai, sedangkan pada Februari 2021 arus yang mengarah ke utara ke arah pantai, kemudian berbelok ke arah barat dan timur sejajar garis pantai, kemudian pada jarak tertentu, arus kembali menjauhi garis pantai menuju ke selatan. Selanjutnya perbedaan kecepatan arus. Pada Februari 2011, kecepatan arus laut bervariasi antara nilai minimal 0,0188 m/s hingga maksimal pada 0,1032 m/s, sedangkan pada Februari 2021

kecepatan arus bervariasi pada nilai terkecil 0,0040 m/s hingga terbesar pada 0,1660 m/s.

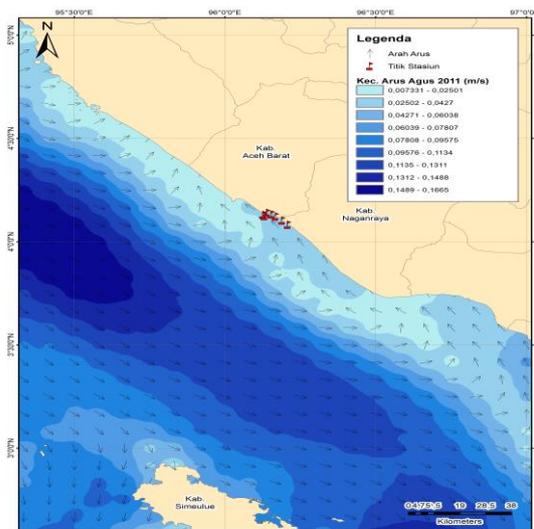
Perbedaan juga dapat dilihat pada arah dan kecepatan arus laut bulan Agustus 2011 dan 2021. Pada Agustus 2011 arah arus yang semula mengarah ke timur sejajar garis pantai, kemudian selanjutnya berbelok ke utara tegak lurus garis pantai, sedangkan pada Agustus 2021 arah arus laut secara stabil tetap bergerak ke arah timur sejajar garis pantai. Selanjutnya terkait perbedaan kecepatan arus. Pada Agustus 2011, kecepatan arus bervariasi antara nilai terkecil 0,0073 m/s hingga nilai terbesarnya 0,1665 m/s. Sedangkan pada Agustus 2021 nilai kecepatan arus bervariasi antara nilai terkecil 0,0484 m/s hingga nilai terbesar 0,3583 m/s.



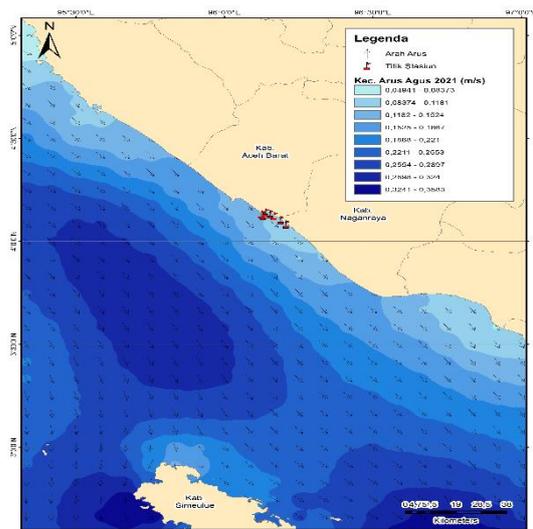
Februari 2011



Februari 2021



Agustus 2011



Agustus 2021

Gambar 3. Hasil Pemodelan Arah dan Kecepatan Arus Laut

Pola arus yang terjadi pada bulan Februari dan Agustus khususnya pada tahun 2011 dan 2021 umumnya mengikuti pola musim angin. Pada saat itu terjadi musim barat dan musim timur. Musim barat yang ditandai dengan curah hujan tinggi dapat menyebabkan terjadinya angin permukaan yang mendorong massa air laut menjauh dari pantai. Namun persebaran arus laut ini tidak sepenuhnya mempengaruhi distribusi klorofil-a (Haban *et al.*, 2022). Sebaran klorofil-a lebih dipengaruhi oleh besar kecilnya intensitas sinar matahari (Rosalina *et al.*, 2024), karena cahaya merupakan faktor utama dalam proses fotosintesis fitoplankton yang menghasilkan klorofil-a. Dengan demikian sebaran klorofil-a di perairan Aceh Barat dan Nagan Raya tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh arah dan kecepatan arus laut. Hal ini berbeda dari penelitian Unepetty *et al.*, (2022) menyatakan Arah dan kecepatan arus memengaruhi distribusi horizontal klorofil-a, di mana arus dapat membawa air yang kaya akan nutrisi ke wilayah tertentu, meningkatkan kelimpahan fitoplankton.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

Konsentrasi klorofil-a di perairan Aceh Barat dan Nagan Raya menunjukkan indikasi konsentrasi klorofil-a yang rendah berkisar 0,83 mg/m<sup>3</sup> dan tertinggi 4,86 mg/m<sup>3</sup> sehingga termasuk ke dalam kategori perairan *oligotrofik*. Sedangkan konsentrasi klorofil-a tahunan menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil-a tahunan tertinggi terdapat pada tahun 2021 yang berkisar antara 2,079 mg/m<sup>3</sup>–4,86 mg/m<sup>3</sup>, serta konsentrasi klorofil-a terendah pada tahun 2011 berkisar antara 0,94 mg/m<sup>3</sup>–3,01 mg/m<sup>3</sup>. Nilai konsentrasi klorofil-a tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh pola arus laut, sementara variabilitas sebaran klorofil-a di perairan Aceh Barat dan Nagan Raya tidak dipengaruhi oleh arus laut. Pemantauan menggunakan citra satelit Aqua MODIS efektif untuk mengidentifikasi perubahan konsentrasi klorofil-a dan memahami dinamika ekosistem perairan.

Dilakukan penelitian lebih lanjut baik secara *in situ* maupun *ex situ* dengan parameter kualitas perairan yang lebih beragam seperti jenis dan kelimpahan fitoplankton, suhu, dan unsur hara sehingga kualitas perairan Aceh Barat dan Nagan Raya dapat diketahui secara menyeluruh, detail dan mendalam.

#### DAFTAR PUSTAKA

Adi Mulsandi, Yonny Koesmaryono, Hidayat, R., Akhmad Faqih, & Ardhasena

- Sopaheluwakan. 2024. Detecting Indonesian Monsoon Signals and Related Features Using Space–Time Singular Value Decomposition (SVD). *Atmosphere*, 15(2), 187–187. <https://doi.org/10.3390/atmos15020187>
- Ali, M. M., et al. (2021). The effect of heavy metals on chlorophyll content of phytoplankton in aquatic ecosystems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(8), 507. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09279-3>
- Anugrah, A. P., Hidayah, Z., As-Syakur, A., & Rachman, H. A. (2023). Pemanfaatan Citra Satelit Aqua-MODIS untuk Pemantauan Dinamika Spasio-Temporal Produktivitas Primer Bersih di Perairan Laut Jawa. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(3), 473-484. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i3.18222>
- Ardi, R. D. W., Aswan, Maryunani, K. A., Yulianto, E., Putra, P. S., Nugroho, S. H., & Istiana. (2020). *Last Deglaciation—Holocene Australian-Indonesian Monsoon Rainfall Changes Off Southwest Sumba, Indonesia*. *Atmosphere*, 11(9), 932. <https://doi.org/10.3390/atmos11090932>
- Arifin, R. (2009). Distribusi Spasial dan Temporal Biomassa Fitoplankton (Klorofil-a) dan Keterkaitannya Dengan Kesuburan Perairan Estuari Sungai Brantas, Jawa Timur. Skripsi. IPB. Bogor.
- Bachtiar, Aidin Fitrah, et al. (2024). Analisis Variabilitas Tss, Klorofil-A, dan Algae Bloom pada Daerah Limpasan Pembuangan Tambak Udang dan Muara Sungai di Perairan Laut Desa Mandrajaya, Teluk Ciletuh, Sukabumi. *Blantika: Multidisciplinary Journal 2.6* : 563-574.
- Dida, F. A., Sari, D. M., & Nofrizal, R. (2022). Pengaruh angin monsoon timur terhadap arus permukaan di perairan selatan Pangandaran. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, 4(4), 15672–15678.
- Fitriya, N., Surbakti, R., Aryawati, R. (2011). Pola sebaran fitoplankton serta klorofil-a pada Perairan Tambelan Laut Natuna. *Jurnal Maspari*, 3(2), 1-8
- Gupta, M. (2014). A new Tropic State Index for Lagoons. *Journal of Ecosystems*, 2014(8).

- Hatta, M. (2016). Hubungan Antara Parameter Oseanografi Dengan Kandungan Klorofil-A Pada Musim Timur Di Perairan Utara Papua. *Torani Journal of Fisheries and Marine Science*, 24(3).  
<https://doi.org/10.35911/torani.v24i3.235>
- Haban, M., & Kunarso, K. & Prayogo, Teguh & Wirasatriya, A. (2022). Spatio-Temporal Distribution of Chlorophyll-a in Semarang Bay using Sentinel-3. *Buletin Oseanografi Marina*. 11.11-18. 10.14710/buloma.v11i1.40201.
- Irsadi, A. (2018). Pencemaran Laut Ditinjau Dari Sudut Hukum Lingkungan (Studi Kasus Tumpahan Batu Bara di Laut Meulaboh). Prodi Ilmu Hukum. FH.UTU.  
<http://jurnal.utu.ac.id/jcivile/article/download/456/382>.
- Jullimursyida, Sayuti, M., Mariyudi, M., & Zulkarnaen, T. (2017). Model Pemberdayaan Masyarakat Sekitar Tambang Batubara Berbasis Sinergisitas Stakeholder Dan Manajemen Ekoregion Untuk Menggerakkan Ekonomi Rakyat Di Provinsi Aceh. Unimal Press: Aceh
- Nurdini, J. A., Hidayati, D. R., Cahya, I., Noviani, A., & Ridyawati, I. W. (2024). Distribution of Pb and Fe heavy metal contamination in sea water and sediment in Bangkalan Madura Sea Waters. *E3S Web of Conferences*, 499, 01025.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449901025>
- Kumalawati, A. S. (2004). Variabilitas Parameter Oseanografi dan Sebaran Klorofil-a di Perairan Nangroe Aceh Darussalam pada Bulan Oktober-November 2002. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB.
- Kunarso, S.H., Nining, S.N., Mulyono, S. B. (2011). Variability temperature chlorophyll an upwelling area on variation ENSO and IOD events in the South Java Sea to Timor. *Journal Knowledge Marine*, 16(3), 171-180.
- Linus, Y., Salwiyah, Irawati, N. (2016). Status Kesuburan perairan berdasarkan kandungan klorofil-a di perairan Bungkutoko Kota Kendari. *Jurnal Manajemen Sumber Daya Perairan*, 2 (1), 101-111.
- Manggala, B. (2013). Analisa Pola Pergerakan Arus Terhadap Sebaran Klorofil-a dengan Menggunakan Citra Satelit di Perairan Selat Karimata dan Sekitarnya. *Sarjana thesis, Universitas Brawijaya*.
- Mursyidin, M., Yuswardi, Y. (2017). Deteksi kesuburan perairan aceh menggunakan citra klorofil-a satelit Aqua MODIS. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 1(1), 44-50.
- Nababan, B. (2009). Variability in the light absorption coefficients of phytoplankton and its relationship with chlorophyll concentration of surface water. *J. Kelautan Nasional*, 1, 41-53.
- Purwanto, P., Sugianto, D. N., Zainuri, M., Permatasari, G., Atmodjo, W., Rochaddi, B., Ismanto, A., Wetchayont, P., & Wirasatriya, A. (2021). Seasonal variability of waves within the Indonesian seas and its relation with the monsoon wind. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 26(3), 189–196.  
<https://doi.org/10.14710/ik.ijms.26.3.189-196>
- Ramadhanty, M. U., Suryono, S., dan Santosa, G. W. (2020). Komposisi Fitoplankton di Pantai Maron Semarang. *Journal of Marine Research*, 9(3), 296-302.
- Rashid, A. (2009). Distribution chlorophyll -a on season West- East transition in the Waters Spermonde South Sulawesi Province. *Journal Science & Technology*, 9(2), 125-132. water quality index. *Journal Envirometric*, 9 (1): 329-357
- Ratnasari., Putra, R. D. P., Idris, F. (2016). Pemetaan klorofil-a di perairan Laut Cina Selatan menggunakan citra satelit aqua. *Jurnal Umrah. Universitas Maritim Raja Ali*.
- Rosalina, D., Rizkiah, R., Wardono, S., Sutrisno, B. O., Ismail, R. M., Leilani, A., & Amiluddin, M. (2024). Pola Arus Dan Sebaran Klorofil-a Di Perairan Laut Flores Pada Tahun 2021. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 17(3),201–212.  
<https://doi.org/10.21107/jk.v17i3.25907>
- Semedi, B., Safitri, N. M. (2015). Estimasi distribusi klorofil-a di Perairan Selat Madura menggunakan data citra satelit Modis dan pengukuran in situ pada Musim Timur. *Research Journal of Life Science*, 2(1), 40-49.
- Sidik, A., Agussalim, A. Ridho, M. R. (2015). Accuracy mark concentration chlorophyll -a and temperature surface

- sea using sensing data deep in the waters Island Alanggantang National Park Nine. *Maspari Journal*, 7(2), 25-32.
- Tambing, S.Y. (2024). Analisis Tingkat Kesuburan Perairan Berdasarkan Nitrat, Fosfat Dan Klorofil-A Di Teluk Laikang Kabupaten Takalar. Skripsi thesis, Universitas Hasanuddin.
- Trevor, W., Edward, B., Burke, H. (1998). Environmental indicators for national state of the environment reporting Estuaries and the Sea, Australia: State of the Environment (Environmental Indicators Reports). Canberra (AU): Department of the Environment.
- Tukidi. (2010). *Karakter Curah Hujan di Indonesia*. *Jurnal Geografi*, 7(2), 136–145.  
<https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JG/article/view/84>.
- Uneputty, B. A. S., Tubalawony, S., & Noya, Y. A. (2022). Klorofil-a dan kaitannya terhadap Produktifitas Primer Perairan Laut Banda pada Fenomena La Nina. *NEKTON: Jurnal Perikanan dan Ilmu Kelautan*, 2(1), 57–65.  
<https://doi.org/10.47767/nekton.v2i1.326>
- Sutama, I. M., & Segara, I. N. Y. (2018). Pengaruh Aktivitas Pelabuhan Terhadap Suhu Lokal dan Sirkulasi Air di Perairan Pesisir. *Jurnal Segara*, 14(2), 123–135
- Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Motanari, G., Rinaldi, A. (1998). Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Journal Environmentric*, 9(1), 329 – 357.
- Wyrski, K. (1961). Physical oceanography of the Southeast Asian Waters. The University of California Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California.