

## Distribusi Barium Terlarut pada Estuari dan Laut Padelegan Kecamatan Pademawu, Kabupaten Pamekasan

Muhamad Aziz Hidayatullah<sup>1</sup>, Wiwit Sri Werdi Pratiwi<sup>1,2\*</sup>, Ary Giri Dwi Kartika<sup>1,2</sup>,  
Novi Indriyawati<sup>1</sup>, Makhfud Efendi<sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Kelautan dan Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura

<sup>2</sup>Sains dan Teknologi Penggaraman, Universitas Trunojoyo Madura

Jl. Raya Telang, Kamal, Bangkalan, Jawa Timur 69162 Indonesia

Email: wiwit.sriwerdi@trunojoyo.ac.id

### Abstrak

Barium (Ba) merupakan salah satu elemen minor di perairan laut yang memiliki nilai ekonomis tinggi apabila dimanfaatkan sebagai produk garam turunan. Sumber utama Ba terlarut berasal dari sungai, dan estuari menjalankan peran penting sebagai pengontrol fluktuasi kadar Ba terlarut pada sungai sebelum masuk ke laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar Ba terlarut, distribusi Ba terlarut dan korelasi Ba terlarut dengan salinitas. Kadar Ba terlarut diketahui dari hasil pengujian sampel air laut yang diambil di 9 titik mulai dari daerah estuari hingga laut lepas. Pengujian kadar Ba terlarut menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* sesuai SNI 06-6989.39-2005. Kadar Ba terlarut di Perairan Padelegan berkisar antara 0,009-0,003 mg/L. Hasil visualisasi distribusi kadar Ba terlarut tertinggi berada di estuari dan kadar terendahnya berada di stasiun laut lepas. Distribusi Ba terlarut dari estuari hingga laut lepas menunjukkan kadar yang menurun secara bertahap. Hasil korelasi antara kadar barium terlarut dengan salinitas berbanding lurus yang disebabkan oleh intrusi air laut.

**Kata kunci :** barium terlarut, distribusi, estuari, laut

### Abstract

#### *Distribution of Dissolved Barium in Padelegan Estuaries and Seas, Pademawu District, Pamekasan Regency*

*Barium (Ba) is a minor element in marine waters which has high economic value when used as a derivative salt product. The main source of dissolved Ba comes from rivers, and estuaries play an important role as controlling fluctuations in dissolved Ba levels in rivers before they enter the sea. This research aims to determine dissolved Ba levels, dissolved Ba distribution and the correlation of dissolved Ba with salinity. Dissolved Ba levels are known from the results of testing seawater samples taken at 9 points from the estuary area to the open sea. Dissolved Ba levels were tested using Atomic Absorption Spectrophotometry based on SNI 06-6989.39-2005. Dissolved Ba levels in Padelegan Water range between 0,009-0,003 mg/L. Visualization results of the distribution of the highest dissolved Ba levels are in estuaries and the lowest levels are at open sea. The distribution of dissolved Ba from the estuary to the open sea shows gradually decreasing levels. Correlation results between dissolved barium levels and directly proportional salinity caused by seawater intrusion.*

**Keywords :** barium dissolved, distribution, estuaries, seas.

### PENDAHULUAN

Logam barium pada tabel periodik termasuk dalam golongan kedua yaitu golongan logam alkali tanah. Berdasarkan kelimpahan atomnya, logam barium berada di urutan ke-19. Barium dapat ditemukan di kerak bumi dengan kadar rata-rata

diperkirakan mencapai 425 ppm (Pena *et al.*, 2021). Barium merupakan salah satu elemen minor yang terkandung di air laut, konsentrasi rata-rata diperkirakan mencapai 0,03 mg/L (Kravchenko *et al.*, 2014). Siklus barium di laut dipengaruhi oleh

\*Corresponding author

DOI:10.14710/buloma.v13i1.49525

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/buloma>

Diterima/Received : 11-10-2022

Disetujui/Accepted : 17-05-2023

debit air dan sedimen dari daratan yang menuju ke laut melalui muara sungai (Bridgestock *et al.*, 2021; Cao *et al.*, 2016). Muara sungai yang merupakan tempat percampuran air laut dan air tawar akan menjadi tempat yang berpengaruh dalam tingkat kelimpahan kadar barium di laut. Sumber lain barium terlarut juga dapat berasal dari ventilasi hidrotermal yang membawa banyak mineral, dan salah satunya adalah barium. Barium yang masuk dari ventilasi hidrotermal di dasar laut akan langsung bercampur dengan masa air dalam. Sumber lain barium di laut juga dapat berasal dari air tanah, kadar barium terlarut yang masuk dari air tanah tergolong cukup kecil apabila dibandingkan dengan masukan dari air sungai (Carter *et al.*, 2020).

Estuari yang menjadi sumber utama barium juga diketahui sebagai tempat percampuran antara perairan sungai dan laut sehingga sangat berpengaruh dalam fluktuasi dan distribusi barium di lautan (Joung dan Shiller, 2014). Proses percampuran di estuari memainkan peran penting dalam mengontrol kadar barium terlarut yang masuk ke lautan. Distribusi kadar barium di permukaan perairan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kadar salinitas di lautan, kadar salinitas di laut biasanya menunjukkan pola hubungan yang berbanding terbalik, yang artinya apabila kadar barium di perairan tinggi maka salinitas di perairan akan cukup rendah atau dibawah rata-rata salinitas perairan laut (30-35‰) (Singh *et al.*, 2013). Desorpsi barium dari padatan tersuspensi juga dipengaruhi oleh kondisi salinitas di perairan dan desorpsi padatan akan maksimal jika perairan berada pada kondisi salinitas rendah, pada kondisi salinitas rendah desorpsi barium dari padatan tersuspensi menjadi lebih cepat dibandingkan pada kondisi salinitas tinggi (Joung dan Shiller, 2014). Masukan air tanah dari Pesisir Padelegan juga dapat mempengaruhi kadar barium terlarut di lautan, hal ini mirip dengan masukan debit air sungai dari estuari yang menyebabkan kadar barium terlarut di perairan pesisir lebih tinggi daripada kadar barium di laut lepas (Samanta dan Dalai, 2016).

Pesisir Desa Padelegan ramai dimanfaatkan masyarakat setempat sebagai lahan tambak garam tradisional (Arya *et al.*, 2016). Area pesisir yang dimanfaatkan sebagai tambak garam ini sangat tepat untuk dijadikan tempat penelitian berkelanjutan mengenai garam serta produk turunan yang salah satunya adalah barium terlarut. Barium terlarut dalam siklus biogeokimia laut

memiliki banyak aplikasi diantaranya untuk melacak aspek siklus karbon organik di lautan (Bridgestock *et al.*, 2018), melacak debit fluvial tersuspensi dari sungai di lautan (Kumar *et al.*, 2017), sebagai produktivitas primer laut (Samanta dan Dalai, 2016) dan sebagai pompa biologis (Bates *et al.*, 2017). Selain itu, Ba terlarut dapat dijadikan sebagai bahan baku senyawa  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$  yang diekstrak dari air laut serta larutan sisa produksi garam (bittern) (Wang *et al.*, 2019).

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar barium terlarut di perairan, mengetahui distribusi barium terlarut dan mengetahui korelasi barium terlarut dengan salinitas. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi masyarakat, peneliti serta stakeholder terkait kondisi kualitas perairan di Desa Padelegan, Pamekasan. Kondisi Perairan Padelegan sangat penting untuk dijaga kelestariannya, hal ini karena area pesisir dan perairan Desa Padelegan dan sekitarnya menjadi tempat masyarakat sekitar untuk mencari nafkah. Penelitian mengenai kadar barium terlarut di Indonesia tergolong masih sedikit, dengan adanya penelitian ini diharapkan nantinya ada penelitian lanjutan.

## MATERI DAN METODE

Sampel diambil di 9 titik permukaan air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pengambilan seluruh sampel dilakukan pada pukul 10.00 WIB – 12.00 WIB, tanggal 9 Agustus 2022 yang bertepatan dengan musim kemarau dengan kondisi laut pasang. Penentuan titik pengambilan sampel menggunakan purposive sampling metode dengan rincian titik pengambilan sampel adalah titik 1-3 berada di estuari dan merupakan area yang cukup banyak aktivitas manusia, titik 4-6 berada di area peralihan antara air sungai dan air laut sehingga dapat menunjukkan perubahan kadar Ba terlarut di lautan, dan terakhir titik 7-9 yang berada di laut lepas dapat menunjukkan kadar rata-rata Ba terlarut pada lautan. Kadar salinitas perairan diukur langsung secara insitu untuk mendapatkan hasil yang sebaik mungkin, salinitas perairan diukur dengan menggunakan alat Refraktometer ATAGO. Kemudian Sampel dimasukkan ke wadah botol PET dan disimpan di coolbox. Pengujian kadar barium pada sampel menggunakan jasa laboratorium di Balai Kesehatan Surabaya pada tanggal 15 dan 25 Agustus 2022, sampel diuji menggunakan metode SNI 06-6989.39-2005

dengan instrument AAS (*Atomic Absorbtion Spectrophotometer*) AA-7000 Shimadzu Series. Data hasil pengujian sampel diolah menggunakan perangkat lunak R studio versi 4.2.1 untuk diuji dengan metode one way ANOVA untuk mencari perbedaan rata-rata antar kelompok dan dilanjutkan dengan uji lanjutan tukey HSD untuk membandingkan seluruh pasangan rata-rata perlakuan. Data hasil pengujian divisualisasikan dalam bentuk grafik batang disertai dengan standar deviasi untuk mengetahui standard error selama pengujian laboratorium. Selanjutnya, data kadar barium terlarut dimodelkan secara horizontal dalam bentuk distribusi kadar barium di permukaan perairan menggunakan perangkat lunak Ocean Data View (ODV) versi 5.6.2, dan untuk korelasi antara barium terlarut dan salinitas menggunakan metode korelasi pearson, korelasi pearson digunakan untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan dari dua variabel, besarnya korelasi pearson dapat diketahui dari persamaan (Miftahuddin *et al.*, 2021)

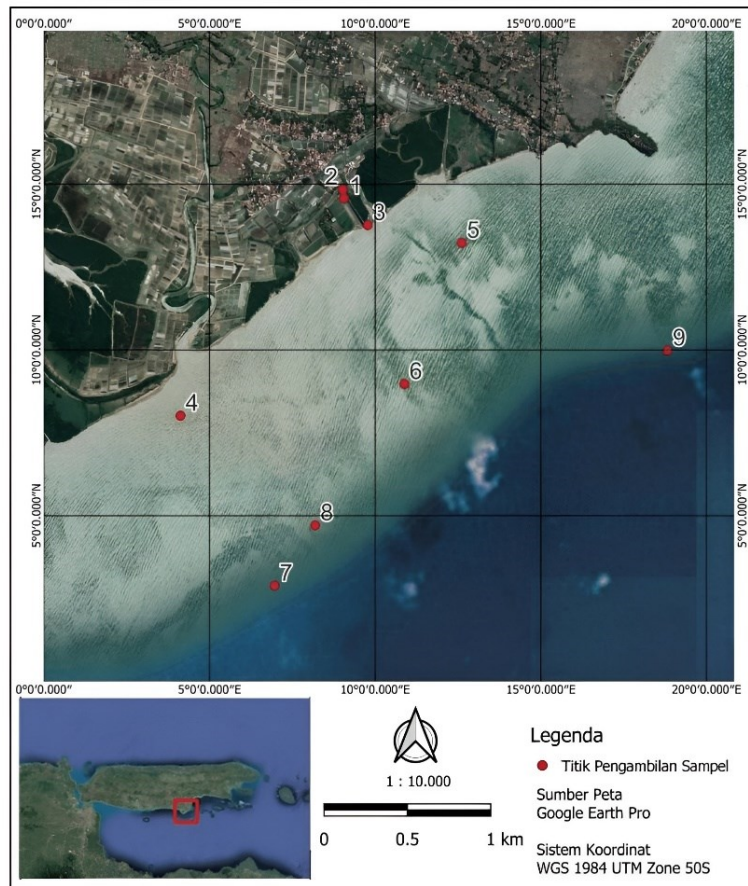
$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Keterangan: x = variabel pertama; y = variabel kedua; n = banyaknya pengamatan

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data hasil pengujian kadar barium di Perairan Padelegan disajikan dalam bentuk grafik yang ditampilkan pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil uji statistik, kadar barium terlarut pada titik 1,2 dan 3 yang berada di estuari menunjukkan hasil tertinggi dengan nilai 0,009 mg/L, 0,008 mg/L dan 0,007 mg/L, dan hasil tidak beda nyata di setiap titiknya. Pada titik 4,5 dan 6 yang berada di area peralihan kadar barium mengalami penurunan yang signifikan dengan kadar barium secara berturut-turut adalah 0,005 mg/L, 0,005 mg/L dan 0,004 mg/L. Perbedaan yang signifikan pada titik 3 dan 4 karena lokasi



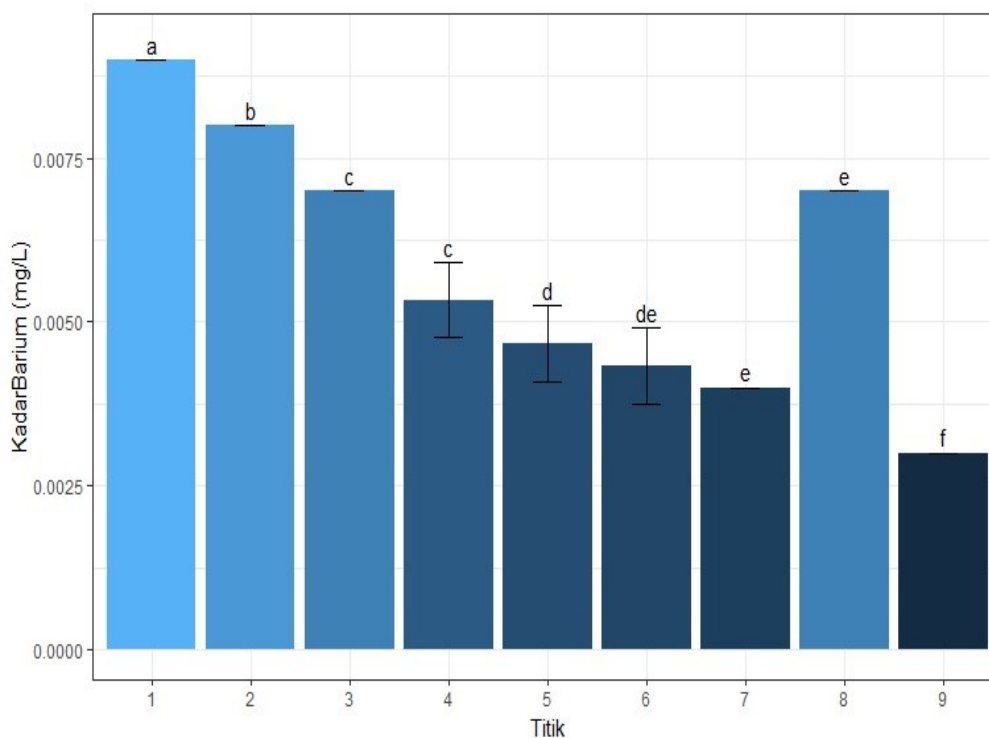
**Gambar 1.** Titik pengambilan sampel

tersebut berada pada dua mulut sungai yang berbeda yang tentunya membawa debit dan padatan yang berbeda juga dimana dapat mempengaruhi kadar barium. Titik 7,8 dan 9 yang berada di lautan kadar bariumnya paling rendah, kadar barium secara berturut-turut adalah 0,004 mg/L, 0,007 mg/L dan 0,003 mg/L. Selain itu kandungan barium pada titik 4 hingga 9 menunjukkan penurunan secara signifikan. Kecuali pada titik 8 yang kadar bariumnya lebih tinggi dibanding area di sekitarnya. Hingga penelitian ini diterbitkan, kadar barium di perairan Indonesia masih belum ada literatur yang membahas konsentrasi kadar barium di perairan laut. Literatur yang ada hanya membahas konsentrasi kadar barium pada sedimen di dasar Teluk Tomini Sulawesi Utara dengan kadar barium berkisar 245–289 ppm (Kusnida dan Kristanto, 2016).

Kadar barium diatas tidak berbeda jauh jika dibandingkan dengan kadar barium rata-rata lautan yaitu sekitar 0,03 mg/L (Kravchenko *et al.*, 2014), dari sini dapat dilihat bahwa kadar barium rata-rata lautan mirip secara global. Pada penelitian Liu *et al* (2017) yang dilakukan di perairan Cina Timur hingga Taiwan, dengan mengambil sampel dari area estuari, area peralihan, hingga laut lepas,

Didapat hasil kadar barium sekitar 0,0185 mg/L yang berada di area estuari, kadar barium ini jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan kadar barium pada penelitian ini (0,009 mg/L). Hal ini menunjukkan bahwa Sungai Qiantang memiliki debit yang lebih besar dibanding Sungai di Padelegan sehingga membawa lebih banyak fluvial tersuspensi yang mengandung barium terlarut. Pada area peralihan di Laut Cina timur menunjukkan kadar barium sekitar 0,0105 mg/L, kadar barium ini juga lebih tinggi jika dibandingkan dengan kadar barium di area peralihan laut Padelegan yang berkisar 0,005 mg/L dan pada area laut lepas kadar barium di perairan Cina timur sekitar 0,0045 mg/L, kadar barium ini sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan kadar barium di laut Padelegan yang kadarnya sekitar 0,003 mg/L. Distribusi barium yang berada di selat madura, Desa Padelegan ditampilkan pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 2 dan 3 kadar barium dari estuari hingga lautan menunjukkan kadar barium yang cenderung menurun, perubahan warna yang terjadi pada peta distribusi menunjukkan penurunan kadar barium terlarut yang paling tinggi di sekitar daratan dan semakin ke lautan kadar barium semakin rendah. Penurunan kadar barium dari perairan dekat pantai hingga laut



**Gambar 2.** Grafik kadar Barium terlarut

lepas merupakan hal yang normal terjadi, berdasarkan penelitian Liu *et al* (2017) yang melakukan penelitian di Laut Cina timur menunjukkan hasil distribusi barium yang tinggi di perairan pesisir dan kadar barium akan semakin ke laut lepas kadar barium akan semakin rendah. Anomali yang terjadi pada titik 8 berupa kenaikan kadar barium yang lebih tinggi dibandingkan area di sekitarnya merupakan akibat dari lokasi titik 8 yang berada di depan mulut sungai dan aliran sungai membawa debit air sungai masuk ke laut (Singh *et al.*, 2013). Debit air sungai yang masuk ke laut membawa sedimen terlarut mengandung barium, dan barium akan terdesorpsi di zona pencampuran air laut (Weerabaddana *et al.*, 2021). Debit Sungai Padelegan yang masuk ke laut juga tergolong besar serta membawa banyak mineral yang larut dengan air sungai hingga sampai ke laut. Sehingga masukan debit air sungai berpengaruh besar dalam menyumbang kadar barium terlarut di lautan.

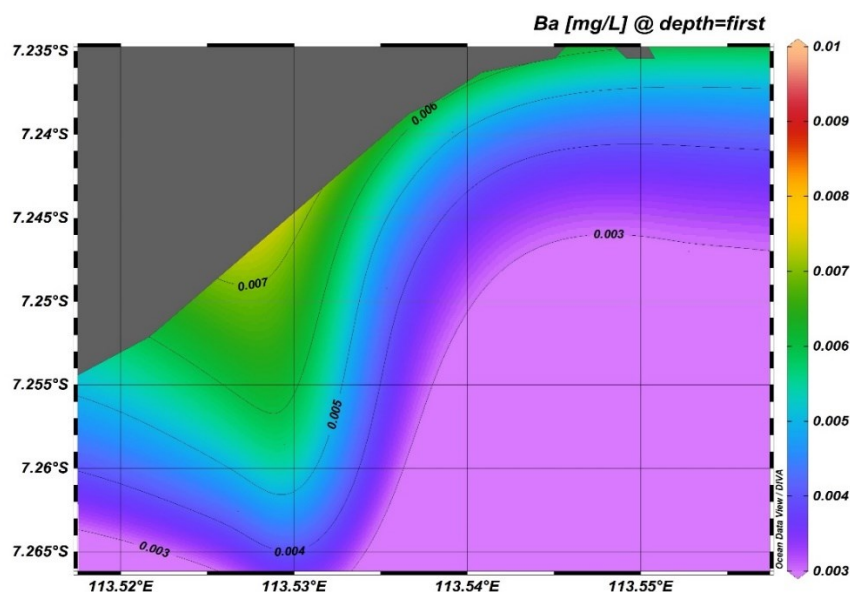
Masukan debit air sungai Padelegan menjadi sumber eksternal barium yang penting di permukaan laut, dengan potensi untuk mempengaruhi komposisi kimia permukaan laut di sekitar mulut sungai dan untuk mengontrol komposisi isotop barium skala global dan dalam jangka waktu yang lama (Hsieh dan Henderson, 2017). Berdasarkan penelitian Hsieh dan Henderson (2017) menyimpulkan bahwa distribusi barium di permukaan laut seluruh dunia cenderung seragam kecuali di area masukan air sungai dan

area upwelling. Keseragaman distribusi barium ini dapat menjadi indikasi jika barium terlarut tidak dikontrol oleh proses oseanografi lokal melainkan barium terlarut menjadi penanda siklus oseanografi global.

### Korelasi Barium Terlarut Dengan Salinitas

Hasil analisis kadar barium terlarut dan salinitas ditampilkan pada Tabel 1. Hasil pada Tabel menunjukkan kadar barium pada titik 1 yang kadarnya tertinggi bertepatan dengan salinitas di titik 1 yang tinggi pula. Kadar barium yang mengalami penurunan di titik selanjutnya tidak diiringi dengan perubahan yang signifikan oleh kadar salinitas, kadar salinitas pada masing-masing titik menunjukkan hasil yang cenderung mendatar atau konstan. Sebagai contoh pada titik 9 yang kadar bariumnya paling rendah menunjukkan kadar salinitas yang tidak berbeda secara signifikan dengan kadar salinitas di titik 1.

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, kadar Ba di lautan dapat dipengaruhi oleh kadar salinitas (Joung dan Shiller, 2014; Samanta dan Dalai, 2016), hubungan yang terbentuk antara Ba dan salinitas sering kali berupa korelasi negatif atau berbanding terbalik, yang artinya kadar Ba terlarut akan tinggi jika salinitas pada perairan rendah dan berlaku sebaliknya jika kadar Ba terlarut rendah maka salinitas perairan tinggi (Cao *et al.*, 2021; Danish dan Tripathy, 2022). Korelasi Ba terlarut dan salinitas dapat juga berupa korelasi positif atau berbanding lurus



**Gambar 3.** Peta ditribusi Ba terlarut

dengan kadar Ba terlarut tinggi dan salinitas yang tinggi pula, hal ini dapat terjadi di perairan dengan kedalaman lebih dari 500 meter dari permukaan laut (Singh *et al.*, 2013). Hubungan korelasi positif antara salinitas dan Ba terlarut disebabkan oleh kadar barium terlarut yang lebih tinggi di perairan dalam daripada di permukaan laut, Tabel perbandingan hasil ditampilkan pada Gambar 4.

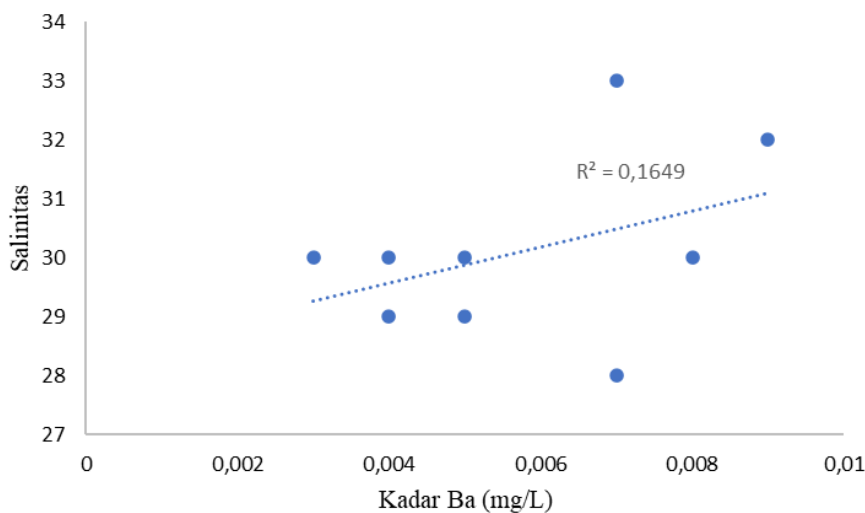
Hasil korelasi antara kadar barium dengan salinitas menggunakan metode korelasi pearson menunjukkan hasil korelasi yang berbanding lurus, yaitu kadar Ba terlarut tinggi bertepatan dengan salinitas perairan yang tinggi pula. Nilai korelasi pearson sendiri menunjukkan hasil 0.406, hasil korelasi cukup untuk menunjukkan tipe korelasi yang berbanding lurus, Peristiwa korelasi ini tergolong langka dan jarang dijumpai, alasan mengapa peristiwa ini terjadi dapat disebabkan karena pada bulan agustus merupakan musim angin timur yang menyebabkan arus dari benua australia menuju ke benua asia. Arus yang berasal

dari laut selatan jawa tersebut membawa air yang kaya dengan barium dan mineral lain dari lautan dalam hasil dari upwelling (Liu *et al.*, 2017; Semedi *et al.*, 2015). Peristiwa lain yang menyebabkan korelasi positif antara barium terlarut dan salinitas adalah adanya intrusi air laut ke dalam akuifer dangkal pada tanah (Colbert dan McManus, 2005). Air tanah dangkal di daerah Padelegan dan sekitarnya telah mengalami intrusi air laut secara merata terutama di bagian selatan dan tepi laut (Arya *et al.*, 2016).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan hasil korelasi antara kadar Ba dengan salinitas banyak didapati hasil korelasi negatif atau berbanding terbalik (Cao *et al.*, 2021; Danish dan Tripathy, 2022), hal ini berbeda dengan hasil korelasi pada penelitian ini. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Colbert dan McManus (2005), yang melakukan penelitian di Estuari Teluk Tillamook, Amerika Serikat dan hasil yang didapat adalah Kadar Ba tinggi pada salinitas yang tinggi

**Tabel 1.** Konsentrasi barium terlarut dengan salinitas

| Titik | Kadar barium (mg/L) | Salinitas |
|-------|---------------------|-----------|
| 1     | 0,009               | 32        |
| 2     | 0,008               | 30        |
| 3     | 0,007               | 33        |
| 4     | 0,005               | 30        |
| 5     | 0,005               | 29        |
| 6     | 0,004               | 30        |
| 7     | 0,004               | 29        |
| 8     | 0,007               | 28        |
| 9     | 0,003               | 30        |



**Gambar 4.** Hubungan Ba, dan salinitas

pula. Colbert dan McManus (2005) menjelaskan bahwa sumber Ba terlarut dapat berasal dari intrusi air laut yang masuk ke akuifer tanah, dengan pernyataan tersebut dapat didukung oleh penelitian Gemilang W.A dan Gunardi Kusumah (2016) yang menyatakan bahwa akuifer dangkal area Padelegan telah mengalami intrusi air laut secara merata. Dapat disimpulkan jika korelasi positif antara kadar barium dan salinitas diduga merupakan akibat dari adanya intrusi air laut pada akuifer dangkal Desa Padelegan dan sekitarnya. Intrusi air laut menyebabkan air tanah pada area Padelegan mengandung air laut dengan salinitas tinggi, sehingga hal ini dapat menyebabkan kondisi air tanah sekitar Padelegan mengandung salinitas yang cukup tinggi, dan ketika air sungai dari hulu yang mengandung barium terlarut tiba di hilir sungai akan bercampur dengan air tanah dengan tingkat salinitas tinggi.

## KESIMPULAN

Kadar Ba terlarut pada Perairan Padelegan dari titik 1 hingga 9 secara berturut-turut adalah 0,009; 0,008; 0,007; 0,005; 0,005; 0,004; 0,004; 0,007 dan 0,003 Distribusi kadar barium dari estuari hingga lautan menunjukkan kadar barium terlarut yang cenderung menurun secara bertahap, kadar barium yang tinggi pada titik 8 disebabkan adanya masukan debit air yang membawa fluvial tersupensi dari Sungai Padelegan. Kadar barium yang semakin menurun di lautan disebabkan karena tidak adanya sumber masukan barium terlarut di permukaan laut. Korelasi barium dengan salinitas pada penelitian ini menunjukkan korelasi berbanding lurus yang mengindikasikan adanya variabel lain yang dapat membuat kadar barium tinggi pada salinitas tinggi. Salah satunya adalah adanya intrusi air laut pada akuifer dangkal yang mempengaruhi tingginya salinitas dan barium terlarut di perairan sekitar Pantai Padelegan. Saran untuk penelitian serupa yaitu dapat memperluas area pengambilan data serta menambahkan korelasi dengan parameter lingkungan perairan lainnya. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi penelitian dasar terkait kadar barium terlarut di perairan Indonesia, dimana penelitian terkait topik ini masih terbatas.

## DAFTAR PUSTAKA

Gemilang, W.A. & Kusumah, G. 2016. Gejala Intrusi Air Laut Di Daerah Pesisir Padelegan, Pademawu Dan Sekitarnya. *Jurnal Kelautan:*

*Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(2): 99–106. doi: 10.21107/jk.v9i2.1117

- Bates, S.L., Hendry, K.R., Pryer, H.V., Kinsley, C.W., Pyle, K.M., Woodward, E.M.S., & Horner, T.J. 2017. Barium isotopes reveal role of ocean circulation on barium cycling in the Atlantic. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 204: 286–299. doi: 10.1016/j.gca.2017.01.043
- Bridgestock, L., Hsieh, Y.T., Porcelli, D., Homoky, W.B., Bryan, A. & Henderson, G.M. 2018. Controls on the barium isotope compositions of marine sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 481:101–110. doi: 10.1016/j.epsl.2017.10.019
- Bridgestock, L., Nathan, J., Paver, R., Hsieh, Y.T., Porcelli, D., Tanzil, J., Holdship, P., Carrasco, G., Annammala, K.V., Swarzenski, P.W. & Henderson, G.M. 2021. Estuarine processes modify the isotope composition of dissolved riverine barium fluxes to the ocean. *Chemical Geology*, 579: 120340. doi: 10.1016/j.chemgeo.2021.120340
- Cao, Z., Rao, X., Yu, Y., Siebert, C., Hathorne, E. C., Liu, B., Wang, G., Lian, E., Wang, Z., Zhang, R., Gao, L., Wei, G., Yang, S., Dai, M., & Frank, M. 2021. Stable Barium Isotope Dynamics During Estuarine Mixing. *Geophysical Research Letters*, 48(19): e2021GL095680. doi:10.1029/2021gl095680
- Cao, Z., Siebert, C., Hathorne, E.C., Dai, M., & Frank, M. 2016. Constraining the oceanic barium cycle with stable barium isotopes. *Earth and Planetary Science Letters*, 434:1–9. doi: 10.1016/j.epsl.2015.11.017
- Carter, S.C., Paytan, A., & Griffith, E.M. 2020. Toward an Improved Understanding of the Marine Barium Cycle and the Application of Marine Barite as a Paleoproductivity Proxy. *Minerals*, 10(5): p.421. doi: 10.3390/min10050421
- Colbert, D., & McManus, J. 2005. Importance of seasonal variability and coastal processes on estuarine manganese and barium cycling in a Pacific Northwest estuary. *Continental Shelf Research*, 25(11): 1395–1414. doi: 10.1016/j.csr.2005.02.003
- Danish, M., & Tripathy, G.R. 2022. Sources and internal cycling of dissolved barium in a tropical coastal lagoon (Chilika lagoon, India) system. *Marine Chemistry*, 240: p.104083. doi: 10.1016/j.marchem.2021.104083

- Hsieh, Y.T., & Henderson, G.M. 2017. Barium stable isotopes in the global ocean: Tracer of Ba inputs and utilization. *Earth and Planetary Science Letters*, 473: 269–278. doi: 10.1016/j.epsl.2017.06.024
- Joung, D.J., & Shiller, A.M. 2014. Dissolved barium behavior in Louisiana Shelf waters affected by the Mississippi/Atchafalaya River mixing zone. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 141: 303–313. doi: 10.1016/j.gca.2014.06.021
- Kravchenko, J., Darrah, T.H., Miller, R.K., Lyerly, H. K., & Vengosh, A. 2014. A review of the health impacts of barium from natural and anthropogenic exposure. *Environmental Geochemistry and Health*, 36(4): 797–814. doi: 10.1007/S10653-014-9622-7/METRICS
- Kumar, J.D., Singh, S., & Singh, M. 2017. Dissolved Barium Concentration and Flux in Gomati River of Ganga Alluvial Plain. In *Northern India Article in Indian Journal of Geosciences*.
- Kusnida, D., & Kristanto, N. A. 2016. Mineralogi inti sedimen permukaan dasar laut GRT-05-03 dari cekungan tomuni – Sulawesi tengah. *Jurnal Geologi kelautan*, 10(2): p.81. doi: 10.32693/jgk.10.2.2012.218
- Liu, W., Song, J. M., Yuan, H. M., Li, N., Li, X. G., & Duan, L. Q. 2017. Dissolved barium as a tracer of Kuroshio incursion in the Kuroshio region east of Taiwan Island and the adjacent East China Sea. *Science China Earth Sciences*, 60(7): 1356–1367. doi: 10.1007/S11430-016-9039-7/metrics
- Miftahuddin, Pratama Ananda, & Setiawan Ichsan. 2021. Analisis Hubungan Antara Kelembaban Relatif Dengan Beberapa Variabel Iklim Dengan Pendekatan Korelasi Pearson di Samudera Hindia. *Jurnal Siger Matematika*, 2(1): 25–33.
- Peana, M., Medici, S., Dadar, M., Zoroddu, M. A., Pelucelli, A., Chasapis, C.T., & Bjørklund, G. 2021. Environmental barium: potential exposure and health-hazards. *Archives of Toxicology*, 95(8): 2605–2612. doi: 10.1007/S00204-021-03049-5/METRICS
- Samanta, S., & Dalai, T.K. 2016. Dissolved and particulate Barium in the Ganga (Hooghly) River estuary, India: Solute-particle interactions and the enhanced dissolved flux to the oceans. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 195: 1–28. doi: 10.1016/j.gca.2016.09.005
- Semedi, B., Maulida, N., Program, S., Kelautan, S. I., Perikanan, F., Kelautan, I., & Brawijaya, U. 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. doi: 10.21776/ub.rjls.2015.002.01.6
- Singh, S.P., Singh, S.K., & Bhushan, R. 2013. Internal cycling of dissolved barium in water column of the Bay of Bengal. *Marine Chemistry*, 154: 12–23. doi: 10.1016/j.marchem.2013.04.013
- Wang, Q.C., Liu, S.G. & Gao, H.P., 2019. Treatment of hydroxyquinone-containing wastewater using precipitation method with barium salt. *Water Science and Engineering*, 12(1): 55–61. doi: 10.1016/J.WSE.2019.03.003
- Weerabaddana, M.M., DeLong, K.L., Wagner, A.J., Loke, D.W.Y., Kilbourne, K.H., Slowey, N., Hu, H.M., & Shen, C.C. 2021. Insights from barium variability in a *Siderastrea siderea* coral in the northwestern Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 173: p.112930. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112930