



# PENGARUH PENCAMPURAN AIR LAUT DAN AIR TAWAR TERHADAP STRUKTUR FISIK ESTUARIA

Paskalis Gulo<sup>1)</sup>, Formas Waruwu<sup>2)</sup>, Eduard Moris Lase<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Sumber Daya Akuatik, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: [Paskalisgulo03@gmail.com](mailto:Paskalisgulo03@gmail.com)

<sup>2)</sup> Sumber Daya Akuatik, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: [pormaswaruwu@gmail.com](mailto:pormaswaruwu@gmail.com)

<sup>3)</sup> Sumber Daya Akuatik, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: [morislase68@gmail.com](mailto:morislase68@gmail.com)

## Abstract

Estuaries are semi-enclosed coastal waters where seawater and freshwater from land meet. The mixing of these two types of water creates complex physical conditions, affecting salinity, temperature, substrate and current dynamics. This study aims to analyze the influence of seawater and freshwater mixing on the physical structure of estuaries, focusing on stratification patterns, salinity distribution and hydrodynamics. The research method involved a literature review of various current scientific sources. Results show that mixing patterns are strongly influenced by factors such as freshwater discharge, tides, and estuarine bottom topography. Understanding these dynamics is important for the sustainable management of estuarine ecosystems.

**Keywords:** Estuary, Water Mixing, Salinity, Stratification, Hydrodynamics.

## Abstrak

Estuaria merupakan wilayah perairan pesisir semi-tertutup yang menjadi tempat pertemuan antara air laut dan air tawar dari daratan. Proses pencampuran kedua jenis air ini menciptakan kondisi fisik yang kompleks, mempengaruhi salinitas, suhu, substrat, dan dinamika arus. Studi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pencampuran air laut dan air tawar terhadap struktur fisik estuaria, dengan fokus pada pola stratifikasi, distribusi salinitas, dan dinamika hidrodinamika. Metode penelitian melibatkan tinjauan literatur dari berbagai sumber ilmiah terkini. Hasil menunjukkan bahwa pola pencampuran sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti debit air tawar, pasang surut, dan topografi dasar estuaria. Pemahaman terhadap dinamika ini penting untuk pengelolaan ekosistem estuaria yang berkelanjutan.

**Kata Kunci:** Estuaria, Pencampuran Air, Salinitas, Stratifikasi, Hidrodinamika.



## PENDAHULUAN

Estuaria merupakan wilayah transisi antara lingkungan laut dan daratan yang memiliki keunikan ekologis serta keragaman hayati tinggi. Ekosistem ini terbentuk melalui proses pencampuran air laut yang bersifat asin dan air tawar dari sungai yang bersifat tawar, menghasilkan kondisi fisik yang sangat dinamis dan kompleks (Putri et al., 2021). Proses pencampuran ini tidak hanya memengaruhi struktur kimia air seperti salinitas dan pH, tetapi juga memberikan dampak signifikan terhadap karakteristik fisik seperti suhu, densitas air, dinamika arus, dan distribusi sedimen.

Dinamika pencampuran air laut dan air tawar di estuaria menghasilkan berbagai pola stratifikasi air, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti debit aliran sungai, intensitas pasang surut, topografi dasar perairan, serta kondisi meteorologi lokal (Rahmadani et al., 2020). Misalnya, estuaria dengan debit air tawar tinggi cenderung membentuk stratifikasi yang kuat, di mana air tawar membentuk lapisan atas dan air laut berada di lapisan bawah. Sebaliknya, ketika energi pasang surut lebih dominan, pencampuran menjadi lebih merata dan membentuk pola “well-mixed” (Zulkarnain & Arifin, 2022).

Struktur fisik estuaria memiliki peran penting dalam mendukung keberlangsungan berbagai proses ekologis, termasuk habitat pemijahan ikan, tempat asuhan larva, hingga daerah produksi primer yang tinggi. Perubahan dalam struktur fisik akibat gangguan pada pola pencampuran, baik karena perubahan iklim, aktivitas manusia, maupun perubahan penggunaan lahan di daerah tangkapan air, dapat memicu degradasi ekosistem estuaria secara keseluruhan (Simbolon et al., 2021).

Mengingat pentingnya peran struktur fisik dalam menjaga keseimbangan ekosistem estuaria, penelitian mengenai pengaruh pencampuran air laut dan air tawar terhadap karakteristik fisik wilayah ini menjadi sangat krusial. Dengan pemahaman yang lebih baik mengenai mekanisme dan variabel yang memengaruhi pencampuran, pengelolaan sumber daya pesisir dapat dilakukan secara

lebih terarah dan berkelanjutan (Nasir & Hidayati, 2023). Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk menelaah pengaruh pencampuran air laut dan air tawar terhadap struktur fisik estuaria berdasarkan tinjauan ilmiah terkini.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Konsep Dasar Estuaria

Estuaria merupakan ekosistem perairan pesisir yang terbentuk dari percampuran air laut dan air tawar, umumnya berada di muara sungai. Ciri utama estuaria adalah gradien salinitas yang berubah-ubah secara horizontal dan vertikal, bergantung pada dinamika pasang surut dan debit air tawar yang masuk (Putri et al., 2021). Kondisi ini menjadikan estuaria sebagai lingkungan yang sangat produktif dan kompleks, tetapi juga sangat rentan terhadap perubahan fisik dan antropogenik (Simbolon et al., 2021).

### Tipe-Tipe Estuaria Berdasarkan Pencampuran

Berdasarkan pola pencampuran antara air laut dan air tawar, estuaria dibagi menjadi beberapa tipe-tipe utama (Zulkarnain & Arifin, 2022):

- Salt-wedge estuary: terjadi ketika debit air tawar tinggi dan dominan sehingga air laut membentuk baji garam yang masuk di bawah air tawar.
- Partially mixed estuary: terdapat campuran vertikal sebagian akibat kekuatan pasang surut dan debit air tawar yang relatif seimbang.
- Well-mixed estuary: ditandai oleh pencampuran vertikal penuh akibat dominasi energi pasang surut yang kuat.

Pemahaman mengenai tipe-tipe estuaria ini penting karena masing-masing memiliki karakteristik fisik dan ekologi yang berbeda-beda.

### Faktor yang Mempengaruhi Proses Pencampuran

Berbagai faktor memengaruhi tingkat pencampuran air laut dan air tawar di estuaria, antara lain:

- Debit air tawar: Semakin tinggi debit air sungai, semakin dominan air tawar dalam sistem estuaria. Fluktuasi musiman seperti musim hujan dan kemarau dapat mengubah struktur stratifikasi



estuaria secara signifikan (Rahmadani et al., 2020).

- Energi pasang surut: Pasang surut memicu pencampuran vertikal dan sirkulasi estuarin yang memengaruhi distribusi salinitas (Nasir & Hidayati, 2023).
- Topografi dasar perairan: Kedalaman dan bentuk dasar laut berpengaruh besar terhadap pola aliran dan pencampuran (Suryono & Murtiningrum, 2019).
- Angin dan gelombang: Selain pasang surut, angin permukaan juga berperan dalam memperkuat pencampuran di permukaan air (Wijayanti & Kunarso, 2020).

### **Salinitas dan Stratifikasi**

Salinitas menjadi parameter utama dalam memahami struktur fisik estuaria. Pola salinitas yang terbentuk memengaruhi lapisan air dan sirkulasi dalam sistem estuaria. Estuaria yang mengalami stratifikasi kuat biasanya memiliki salinitas tinggi di lapisan bawah dan rendah di permukaan (Putri et al., 2021). Sebaliknya, di estuaria yang pencampurannya merata, perbedaan salinitas antar lapisan relatif kecil.

### **Dampak Pencampuran terhadap Struktur Fisik**

Proses pencampuran antara air laut dan air tawar menghasilkan struktur kolom air yang kompleks dan dinamis. Stratifikasi salinitas memengaruhi pergerakan air, transportasi sedimen, dan penyebaran organisme (Simbolon et al., 2021). Selain itu, variasi dalam pencampuran juga memengaruhi suhu air dan ketersediaan oksigen terlarut di dalam perairan (Zulkarnain & Arifin, 2022).

### **Implikasi Ekologis**

Struktur fisik estuaria berperan penting dalam menentukan sebaran habitat dan keanekaragaman hayati. Zona dengan pencampuran optimal mendukung produksi primer dan menjadi tempat berkembang biak bagi berbagai spesies ikan dan invertebrata (Nasir & Hidayati, 2023). Namun, perubahan dalam pola pencampuran akibat reklamasi, pencemaran, dan perubahan iklim dapat

menyebabkan penurunan kualitas lingkungan estuaria (Rahmadani et al., 2020).

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur dengan mengumpulkan dan menganalisis data dari berbagai jurnal ilmiah, laporan penelitian, dan sumber terpercaya lainnya yang diterbitkan dalam lima tahun terakhir. Fokus analisis adalah pada studi kasus estuaria di Indonesia dan wilayah tropis lainnya yang memiliki karakteristik serupa.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **Pola Pencampuran Air Laut dan Air Tawar**

Berdasarkan kajian literatur dan hasil studi lapangan yang dilakukan di berbagai estuaria di Indonesia, ditemukan bahwa pola pencampuran air laut dan air tawar sangat dipengaruhi oleh variasi debit sungai dan dinamika pasang surut. Di Estuaria Mahakam, misalnya, pola pencampuran menunjukkan karakteristik partially mixed pada musim kemarau, sedangkan saat musim hujan, sistem berubah menjadi salt-wedge akibat dominasi debit sungai (Nasir & Hidayati, 2023). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan musiman sangat memengaruhi struktur fisik estuaria, terutama stratifikasi salinitas.

#### **Distribusi Salinitas dan Struktur Vertikal**

Distribusi vertikal salinitas menunjukkan perbedaan yang signifikan antara lapisan permukaan dan dasar. Penelitian oleh Wijayanti dan Kunarso (2020) di Estuaria Pekalongan menunjukkan adanya gradasi salinitas yang tajam pada kondisi air tenang, menandakan stratifikasi kuat. Namun, ketika energi pasang surut meningkat, terjadi pencampuran vertikal yang mengurangi perbedaan salinitas antar lapisan. Fenomena ini sesuai dengan temuan Putri et al. (2021) yang mencatat bahwa energi pasang surut memegang peranan penting dalam homogenisasi kolom air.

#### **Peran Topografi dan Morfologi Estuaria**

Struktur dasar estuaria yang bervariasi seperti keberadaan palung, dataran lumpur, dan kanal sempit



berpengaruh besar terhadap sirkulasi air dan pencampuran. Di Jakarta Bay Estuary, Symbolon et al. (2021) menemukan bahwa sedimentasi akibat reklamasi dan pembangunan pelabuhan mengubah morfologi dasar sehingga memperlambat pencampuran air dan menyebabkan akumulasi air asin di bagian hilir. Topografi yang tidak rata dapat menimbulkan arus balik (return flow) yang memperkuat stratifikasi.

### **Perubahan Struktur Fisik akibat Aktivitas Antropogenik**

Aktivitas manusia seperti reklamasi, pembangunan infrastruktur pesisir, dan pembuangan limbah domestik dan industri berpengaruh besar terhadap dinamika pencampuran. Zulkarnain dan Arifin (2022) mencatat bahwa pencemaran limbah menyebabkan peningkatan densitas air, memperkuat stratifikasi, serta mengurangi oksigen terlarut di lapisan bawah. Kondisi ini memperburuk kualitas habitat biota bentik dan dapat memicu eutrofikasi.

### **Implikasi terhadap Ekosistem dan Keanekaragaman Hayati**

Kondisi pencampuran yang optimal menghasilkan distribusi nutrisi dan oksigen yang merata, mendukung produktivitas primer, dan menciptakan habitat yang layak untuk berbagai spesies ikan dan plankton (Symbolon et al., 2021). Sebaliknya, pencampuran yang terganggu menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem, seperti zona hipoksia di lapisan dasar yang mengancam kehidupan biota. Studi oleh Rahmadani et al. (2020) juga menunjukkan bahwa perubahan struktur fisik secara langsung menurunkan kelimpahan fitoplankton dan zooplankton di Estuaria Sungai Musi.

### **Model Hidrodinamika sebagai Alat Prediksi**

Model numerik seperti Delft3D dan MIKE21 digunakan untuk mensimulasikan pola pencampuran dan distribusi salinitas dalam berbagai skenario hidrologi dan pasang surut. Suryono dan Murtiningrum (2019) berhasil memodelkan pengaruh topografi dan debit sungai terhadap distribusi salinitas, menunjukkan bahwa peningkatan debit 30% dapat menggeser intrusi garam hingga 5 km lebih

jauh ke hilir. Dengan demikian, pemodelan hidrodinamika menjadi alat penting dalam perencanaan pengelolaan wilayah estuaria.

### **KESIMPULAN**

Pencampuran air laut dan air tawar di estuaria menghasilkan kondisi fisik yang kompleks dan dinamis, yang berperan penting dalam membentuk karakteristik lingkungan estuaria. Proses pencampuran ini memengaruhi berbagai parameter fisik seperti salinitas, suhu, kekeruhan, substrat dasar, dan pola arus air. Variasi spasial dan temporal dalam parameter-parameter tersebut menyebabkan terbentuknya gradien lingkungan yang khas, yang sangat memengaruhi struktur komunitas biotik di dalam estuaria.

Pola pencampuran yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti besarnya debit air tawar dari hulu sungai, intensitas dan frekuensi pasang surut, serta topografi dasar dan bentuk morfologi estuaria itu sendiri. Interaksi antar faktor ini menciptakan dinamika yang unik pada setiap estuaria, sehingga tidak ada satu model pencampuran yang dapat mewakili semua sistem estuaria secara umum.

Pemahaman terhadap proses-proses fisik ini menjadi sangat penting dalam konteks pengelolaan dan konservasi ekosistem estuaria. Estuaria merupakan habitat penting bagi berbagai spesies ikan, burung, dan organisme lainnya, serta memiliki peran penting sebagai wilayah pembesaran (nursery grounds), penyaring alami pencemar, dan pelindung kawasan pesisir. Gangguan terhadap keseimbangan fisik estuaria dapat berdampak langsung terhadap keberlanjutan fungsi ekologisnya.

Dengan demikian, pemantauan yang cermat terhadap faktor-faktor yang memengaruhi pencampuran, seperti perubahan iklim, alih fungsi lahan di wilayah tangkapan air, dan aktivitas manusia lainnya, menjadi sangat penting. Informasi ini dapat dijadikan dasar dalam perencanaan pengelolaan wilayah pesisir dan estuaria yang berkelanjutan, yang tidak hanya mempertahankan



keberadaan ekosistem, tetapi juga mendukung kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat sekitar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Putri, A. R., Widianingsih, N., & Maulana, R. (2021). Hydrodynamic Modelling of Saltwater Intrusion in an Estuarine System: A Case Study in the Mahakam Delta. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(7), 723.
- Rahmadani, R., Nugroho, D., & Purnama, I. (2020). Pengaruh Debit Sungai terhadap Pola Pencampuran Air Laut dan Air Tawar di Estuaria Sungai Musi. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 145–154.
- Zulkarnain, I., & Arifin, Z. (2022). Dynamic of Salinity Stratification in Tidal Estuary under Climate Variability. *Ocean Science Journal*, 57, 189–200.
- Simbolon, D., Siregar, V. P., & Rudianto, I. (2021). Changes in Estuarine Physical Structure due to Anthropogenic Influence: Case Study in Jakarta Bay Estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113019.
- Nasir, A., & Hidayati, N. (2023). Pengaruh Variasi Pasang Surut terhadap Dinamika Salinitas di Estuaria Mahakam, Kalimantan Timur. *Jurnal Oseanografi*, 18(1), 55–66.
- Suryono, E., & Murtiningrum, T. (2019). Pengaruh Topografi Dasar terhadap Pola Sirkulasi dan Pencampuran di Estuaria. *Journal of Coastal Research*, 35(5), 1124–1132.
- Wijayanti, A., & Kunarso, K. (2020). Analisis Distribusi Salinitas Vertikal di Estuari Pekalongan Berdasarkan Data In Situ dan Model Hidrodinamika. *Jurnal Segara*, 16(2), 79–89.
- Nasir, A., & Hidayati, N. (2023). Pengaruh Variasi Pasang Surut terhadap Dinamika Salinitas di Estuaria Mahakam, Kalimantan Timur. *Jurnal Oseanografi*, 18(1), 55–66.
- Wijayanti, A., & Kunarso, K. (2020). Analisis Distribusi Salinitas Vertikal di Estuari Pekalongan Berdasarkan



- Data In Situ dan Model Hidrodinamika. *Jurnal Segara*, 16(2), 79–89.
- Putri, A. R., Widianingsih, N., & Maulana, R. (2021). Hydrodynamic Modelling of Saltwater Intrusion in an Estuarine System: A Case Study in the Mahakam Delta. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(7), 723.
- Simbolon, D., Siregar, V. P., & Rudianto, I. (2021). Changes in Estuarine Physical Structure due to Anthropogenic Influence: Case Study in Jakarta Bay Estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113019.
- Zulkarnain, I., & Arifin, Z. (2022). Dynamic of Salinity Stratification in Tidal Estuary under Climate Variability. *Ocean Science Journal*, 57, 189–200.
- Rahmadani, R., Nugroho, D., & Purnama, I. (2020). Pengaruh Debit Sungai terhadap Pola Pencampuran Air Laut dan Air Tawar di Estuaria Sungai Musi. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 145–154.
- Suryono, E., & Murtiningrum, T. (2019). Pengaruh Topografi Dasar terhadap Pola Sirkulasi dan Pencampuran di Estuaria. *Journal of Coastal Research*, 35(5), 1124–1132.