

BAB I

PENDAHULUAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Wilayah perairan laut di Provinsi Maluku Utara telah banyak dimanfaatkan dengan berbagai macam bentuk pola pemanfaatan ruang laut seperti transportasi laut dan pelabuhan, pertambangan, reklamasi pantai, rekreasi dan wisata bahari, pemukiman, perikanan tangkap dan budidaya laut. Keseluruhan aktivitas antropogenik tersebut dapat dijumpai di setiap ruang laut di wilayah Provinsi Maluku Utara baik dalam skala kecil maupun besar.

Aktivitas antropogenik yang dilakukan di sekitar wilayah pesisir berpotensi menghasilkan produk samping berupa limbah dalam bentuk padat (sampah) dan limbah cair. Selain itu, aktivitas di wilayah pesisir tersebut dapat menyebabkan perubahan ekosistem pesisir dan lautan yang dapat berlanjut pada kerusakan ekosistem pesisir dan lautan. Kontaminasi logam merupakan salah satu dari dampak adanya limbah. Logam merupakan salah satu polutan lingkungan yang patut diwaspadai, karena memiliki toksisitas yang tinggi, melimpah serta mudah terakumulasi pada berbagai macam organisme (Riba et al., 2004).

Sumber limbah antropogenik yang masuk ke lingkungan akuatik terakumulasi di sedimen melalui proses adsorpsi, presipitasi, co-presipitasi, dan efek biologi (Peng et al., 2018) sehingga konsentrasi logam di sedimen jauh lebih besar dibandingkan di badan air. Hal ini sejalan dengan pernyataan Werorilangi (2019) mengatakan bahwa logam yang masuk ke lingkungan perairan pada akhirnya akan terakumulasi di sedimen. Pada saat terakumulasi di sedimen, logam dapat diserap oleh biota bentik dan pada akhirnya akan masuk dalam rantai makanan. Potensi bahaya akibat paparan logam pada biota selalu diasosiasikan dengan konsentrasi total logam pada media.

Penelitian ini menggunakan logam Timbal (Pb), Krom (Cr) dan Merkuri (Hg) adalah logam yang bersifat non esensial karena bersifat racun dan menjadi bahan pencemaran yang berbahaya bagi lingkungan, serta dapat mempengaruhi kesehatan manusia dengan mekanisme yang berbeda-beda (Li et al., 2022). Alasan lain yaitu terdapat potensi sumber pencemar dari ketiga logam tersebut pada keempat stasiun penelitian yang merupakan wilayah urban.

Menurut Najamuddin (2017) bahwa parameter fisika kimia perairan merupakan parameter yang sangat rentan mengalami perubahan akibat adanya intervensi manusia. Oleh karena itu, parameter fisika kimia menjadi indikator yang kuat untuk menilai kualitas perairan dan status pencemaran. Variasi parameter fisika kimia dalam suatu perairan akan berpengaruh secara signifikan terhadap dinamika polutan



parameter fisika kimia tersebut akan menentukan laju reaksi dan ia di dalam perairan seperti polutan.

2020) menyatakan bahwa faktor lain yang menentukan distribusi dan am sedimen selain tekstur dan kandungan bahan organik, juga nisme reaksi oksidasi-reduksi, pH sedimen, dan oksigen terlarut.

Kandungan karbon organik memiliki hubungan yang positif dengan konsentrasi logam dalam sedimen. Dimana semakin tinggi kandungan bahan organiknya maka kandungan logam juga semakin tinggi. Logam mempunyai sifat mudah terikat dengan bahan organik di dalam kolom air lalu mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga secara umum kadar logam dalam sedimen lebih tinggi dibanding dalam air (Arifin, 2009; Najamuddin, 2020).

Selain itu, kandungan logam dalam sedimen juga bergantung pada komposisi kimia dan mineral sedimen. Konsentrasi logam dalam sedimen umumnya lebih tinggi pada sedimen yang bertekstur liat, lumpur, pasir berlumpur, dan campuran ketiganya dibanding sedimen berupa pasir murni. Hal ini disebabkan adanya gaya tarik elektro kimia partikel sedimen yang lebih kuat pada sedimen yang lebih halus (Sanusi, 2006; Najamuddin, 2020). Selanjutnya dikatakan bahwa fraksi sedimen yang halus memiliki area permukaan yang lebih luas sehingga dapat mengikat zat terlarut lebih banyak. Faktor lain yang juga berperan adalah kandungan bahan organik yang lebih tinggi pada fraksi sedimen yang halus sehingga logam membentuk ikatan dengan partikel organik

Sudah banyak penelitian yang membuktikan bahwa konsentrasi total logam untuk penentuan toksisitas logam baik esensial maupun yang non-esensial tidak selamanya berkorelasi positif dengan dampak negatif yang terjadi pada biota (Werorilangi, 2019). Sejalan dengan pernyataan Batley (1987) dan Situmorang (2010) bahwa konsentrasi total logam dalam air laut maupun sedimen tidak memberikan informasi yang akurat mengenai tingkat pencemaran. Untuk itu diperlukan juga informasi mengenai bioavailabilitas logam-logam tersebut bagi biota. Bioavailabilitas logam di perairan menunjukkan logam dalam bentuk ion bebas yang sangat mudah diserap oleh biota. Pada saat logam berada pada fase solid, logam akan berpartisipasi pada fraksi-fraksi geokimia di sedimen yang pada akhirnya akan menentukan bioavailabilitasnya bagi biota. Fraksi biogeokimia yang *bioavailable* akan menentukan seberapa besar logam akan terserap oleh organisme, bioakumulasinya dan dampak toksisitasnya pada organisme khususnya benthik (Paller and Knox, 2013; Werorilangi, 2019).

Logam *bioavailable* dalam sedimen dapat mempengaruhi distribusi dan dapat pula menyebabkan peningkatan konsentrasi polutan dalam organisme hidup (Caplat et al., 2005; Kress et al., 2004). Logam dengan konsentrasi tinggi pada organisme hidup dapat menyebabkan terjadinya kelainan morfologis, gangguan neurofisiologis, perubahan genetik sel (mutasi), teratogenesis dan karsinogenesis. Selain itu, logam dapat memengaruhi enzimatis dan aktivitas hormonal, serta tingkat pertumbuhan dan peningkatan angka kematian (Bubb et al., 1991; Lestari 2017).

Salah satu cara yang digunakan untuk mengetahui informasi ketersediaan logam Pb, Cr dan Hg dalam sedimen bagi biota (bioavailabilitas) adalah dengan melakukan proses



logam mempunyai fungsi yaitu memberikan informasi mengenai karakteristik suatu unsur berdasarkan mobilitas, fungsi, bioavailabilitas dan konsentrasi (Sari et al., 2014). Bentuk fraksinasi tersebut adalah *exchangeable* (mudah bertukar/putus) berikatan dengan *humic substances*, karbonat, berikatan dengan oksida mangan dan besi, berikatan dengan organik, dan berikatan dengan mineral kristal (fraksi residu) (Gao dan Wang, 2006). Oleh karena itu, penentuan fraksinasi logam dalam sedimen sangat penting

untuk menilai potensi toksisitas dan resiko yang ditimbulkan logam bagi ekosistem (Liu, et al., 2015).

Penentuan fraksinasi logam juga penting guna mengidentifikasi sumber polutan logam di dalam perairan, apakah berasal dari proses alamiah atau bersumber dari aktivitas manusia. Komposisi fraksi dalam bentuk resisten mengindikasikan sumber polutan logam berasal dari proses alami, sedang komponen fraksi non-resisten mengindikasikan sumber polutan logam berasal dari aktivitas manusia (Teixeira et al., 2003; Rodrigues & Formoso, 2006).

Penelitian mengenai total logam di dalam sedimen laut telah banyak dilakukan di wilayah perairan Indonesia, beberapa hasil penelitian telah dilaporkan oleh (Bai et al., 2011; Rosita dan Lestari, 2013; Ahmad, 2013; Prabawa et al., 2014; Fu et al., 2014; Kusuma et al., 2015; Najamuddin et al., 2016; Wijayanti, 2017; Komarawidjaja et al., 2017; Kolibongso et al., 2017; Pugung et al., 2018). Tapi penelitian untuk melihat Distribusi dan Fraksinasi Logam dalam sedimen sebagai alat penduga potensi ketersediaan logam dalam biota benthik berdasarkan aktifitas antropogenik di wilayah perairan kepulauan belum dilakukan. Oleh karena itu penelitian mengenai Distribusi dan fraksinasi logam dalam sedimen laut serta bioavailabilitas di Wilayah Perairan Provinsi Maluku Utara sangat penting dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Aktifitas antropogenik di wilayah perairan Provinsi Maluku Utara yang paling utama adalah pertambangan, pelabuhan, dan industri yang banyak dijumpai di Halmahera Utara, Pulau Ternate, dan Tidore. Aktifitas antropogenik tersebut menimbulkan dampak penurunan kualitas lingkungan laut dan pencemaran.

Pelabuhan Bastiong yang terletak di Kota Ternate adalah salah satu pelabuhan yang digunakan sebagai tempat berlabuh kapal besar dan kecil yang akan membawa penumpang ke berbagai kabupaten di Provinsi Maluku Utara. Selain itu disitulah tempat berlabuh kapal penangkap ikan yang proses penjualannya langsung dilakukan di atas kapal. Tidak jauh dari pelabuhan terdapat aktifitas penjualan ikan dan pasar yang memperdagangkan berbagai macam kebutuhan pangan. Perairan di Bastiong biasa digunakan oleh masyarakat sebagai tempat permandian yang pengunjungnya ramai ketika hari libur. Menurut Nurhamiddin (2018) bahwa perairan sekitar Pelabuhan Bastiong Kota Ternate nilai logam Pb dan Cu pada sedimen telah melampaui baku mutu yang dikeluarkan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51. Tahun 2004. Nilai yang diperoleh dari hasil penelitian nilai Pb adalah 5,06 ppm, sedangkan untuk Cu adalah 4,01 ppm. Nilai ini telah melampaui baku mutu untuk biota laut yaitu 0,008 ppm maupun baku mutu untuk wisata bahari dan pelabuhan 0,05 ppm.



16 telah dioperasikan PLTU Tidore berkapasitas 2 x 7 MW terletak di Halmahera dan menggunakan batu bara berkalori rendah. PLTU Tidore membangkitkan batu bara pertama di regional Maluku dan Papua. Lokasi sangat strategis untuk mewujudkan energi listrik dengan harga < dari lokasi PLTU ke laut adalah sekitar 150 meter, dan disamping itu lokasi yang ketika musim hujan dan air naik baru mengalir. 21) bahwa batubara Sulfur rendah dengan kadar abu rendah akan

menjadi batubara yang baik untuk digunakan. Namun dalam kasus lain, batubara rendah Sulfur dengan kalori rendah tidak akan menjadi batubara yang optimal untuk digunakan. Batu bara jenis ini, memiliki kadar air yang tinggi dan nilai kalori yang rendah sehingga menjadikannya kalah di pasar ekspor batu bara. Secara fisik batu bara jenis ini mudah menjadi pasir jika diangkut dari pertambangan. Terlebih lagi, lignit mengandung 20-25 persen oksigen sehingga kebakaran spontan mudah terjadi. Kebakaran spontan batu bara di Sumatera Selatan telah terjadi beberapa kali. Menurut Palar (2012) bahwa sumber utama masuknya Krom dari suatu strata lingkungan adalah dari pembakaran dan mobilisasi batu bara. Hal ini sejalan dengan pernyataan Firman (2020) bahwa abu batubara memiliki kandungan logam salah satunya adalah logam Krom (Cr).

Salah satu aktivitas industri yang ada di Kota Ternate adalah Pertamina yang terletak di Kelurahan Jambula Kota Ternate. Terminal Bahan Bakar Minyak (TBBM) ini berdasarkan berita Liputan 6 (2021) bahwa pada Tanggal 30 Juli 2021 telah terjadi tumpahan minyak disebabkan karena kapal pengangkut minyak dihantam gelombang sehingga ribuan kiloliter solar dan premium tumpah ke perairan. Menurut Farida (2021) bahwa lokasi TBBM pada umumnya terletak dekat dengan pelabuhan dan kilang minyak sehingga memungkinkan terjadinya pencemaran. Dan pada Tanggal 06 April 2022 telah terjadi tumpahan bahan bakar minyak (BBM) jenis solar dan pertalite di Jambula akibat terjadi kebocoran pipa minyak.

Kabupaten Halmahera Utara tepatnya di Malifut telah berdiri Pertambangan Emas dengan nama Nusa Halmahera Mineral (NHM). Kontrak Karya dengan Pemerintah Indonesia yang ditandatangani tanggal 28 April 1997. PT NHM mengoperasikan Tambang Emas Gosowong berdasarkan Kontrak Karya mengelola wilayah kerja seluas 29.622 hektar dengan sistem tambang terbuka di Tambang Emas Gosowong. Hilir dari aktivitas tambang ini adalah Teluk Kao yang sumber airnya berasal dari masukan Sungai Kobok, Sungai Taolas dan Sungai Tobobo. Selain aktifitas NHM juga ada aktivitas Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) di areal sekitar sungai. Penelitian Simbolon (2010) di Teluk Kao dilakukan pada empat jenis ikan, nilai merkuri pada organ hati berkisar 0.13 – 0.51 ppm. Sedangkan pada organ daging berkisar 0.03-0.19 ppm. Ikan kakap merah dan belanak tidak layak dikonsumsi berdasarkan standar WHO. Sedangkan nilai layak konsumsi pada daging ikan biji nangka dan udang maksimal 300 gram/hari.

Salah satu pengujian kualitas air limbah yang telah dilakukan di salah satu kegiatan pertambangan memperlihatkan hasil bahwa terjadi peningkatan Cr^{6+} pada Triwulan III di SP II dan SP IV, dimana menurut Lapik (2017) bahwa logam ini pada umumnya ditemukan dalam bentuk persenyawaan. Logam ini dapat berada di lingkungan perairan, tanah maupun udara. Sumber masuknya logam ini umumnya berasal dari kegiatan perindustrian, pembakaran serta mobilisasi bahan-bahan bakar. Kromium merupakan logam yang memiliki daya racun tinggi. Daya racun logam ini



isi-valensi ionnya. Ion Cr^{6+} merupakan bentuk logam yang sering nya. Sifat racun yang dibawa logam ini dapat mengakibatkan kronis, akut, dan dapat menyebabkan kanker (Palar, 2012). an konsentrasi yang tinggi pada organisme hidup dapat inya kelainan morfologis, gangguan neurofisiologis, perubahan , tetatogenesis dan karsinogenesis. Selain itu, logam dapat

mempengaruhi enzimatik dan aktivitas hormonal, serta tingkat pertumbuhan dan peningkatan angka kematian (Bubb et al., 1991; Lestari, 2017).

Penelitian tentang kandungan logam total pada dasarnya tidak bisa memberikan informasi mengenai berbagai bentuk logam dan konsentrasi logam yang ada dalam sampel biota. Bioavailabilitas adalah ketersediaan sejumlah logam yang bisa diserap oleh biota. Logam yang dapat diakumulasi oleh organisme perairan adalah logam yang *bioavailable* karena merupakan fraksi logam yang bersifat labil. Logam *bioavailable* dalam sedimen dapat mempengaruhi distribusi dan dapat pula menyebabkan peningkatan konsentrasi polutan dalam organisme hidup (Caplat et al., 2005 dan Kress et al., 2004).

Berdasarkan uraian di atas maka dirumuskan beberapa pertanyaan yang merupakan masalah yang akan dijawab dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana variasi musiman parameter lingkungan perairan dapat mempengaruhi distribusi konsentrasi dan status pencemaran logam Timbel (Pb), Krom (Cr) dan Merkuri (Hg) dalam sedimen di wilayah perairan Provinsi Maluku Utara?
2. Bagaimana distribusi konsentrasi dan status pencemaran logam Timbel (Pb), Krom (Cr) dan Merkuri (Hg) dalam sedimen di wilayah perairan Provinsi Maluku Utara menggunakan indeks geoakumulasi?
3. Bagaimana hubungan konsentrasi Logam Pb, Cr dan Hg pada biota bentik dengan konsentrasi logam yang *bioavailable* dan *non-bioavailable* pada sedimen di wilayah perairan Provinsi Maluku Utara ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis variasi musiman parameter lingkungan perairan di wilayah Provinsi Maluku Utara.
2. Menganalisis distribusi konsentrasi dan status pencemaran logam Timbel (Pb), Krom (Cr) dan Merkuri (Hg) dalam sedimen di wilayah perairan Provinsi Maluku Utara menggunakan indeks geoakumulasi.
3. Menganalisis konsentrasi Logam Pb, Cr dan Hg pada biota bentik dengan konsentrasi logam yang *bioavailable* dan *non-bioavailable* pada sedimen di wilayah perairan Provinsi Maluku Utara.

1.4 Kegunaan Penelitian

Hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk:

1. Pengembangan ilmu pengetahuan terkait konsep distribusi dan fraksi geokimia logam serta perilaku logam sehingga tersedia bagi biota bentik.
2. Sumber informasi bagi masyarakat dan pemerintah dalam pengambilan kebijakan terkait dengan pengelolaan di wilayah perairan pesisir seperti status pencemaran, tuk pemanfaatan lainnya baik menyangkut ruang maupun sumber itar perairan kepulauan.



1.5 Hipotesis Penelitian

1. Terdapat variasi musiman parameter lingkungan perairan di wilayah perairan Provinsi Maluku Utara.
2. Terdapat hubungan antara distribusi konsentrasi logam timbel (Pb), krom (Cr), dan merkuri (Hg) yang dipengaruhi oleh sumber logam dan variasi musiman lingkungan perairan dan status pencemaran logam timbel (Pb), krom (Cr) dan merkuri (Hg) dalam sedimen di lokasi penelitian tercemar sedang
3. Terdapat hubungan antara konsentrasi Logam Pb, Cr dan Hg pada biota bentik dengan konsentrasi logam yang bioavailable dan non-bioavailable pada sedimen di wilayah perairan Provinsi Maluku Utara.

1.6 Batasan Penelitian

Distribusi dan fraksinasi logam disedimen berdasarkan aktifitas antropogenik di wilayah perairan Provinsi Maluku Utara membatasi aspek kajian menyangkut: 1) Konsentrasi total logam Pb (Timbel), Krom (Cr) dan Merkuri (Hg) di sedimen; 2) Konsentrasi logam Pb, Cr dan Hg pada berbagai fraksi (*acid-soluble*, *reducible*, *oxidisable* dan *residual*) di sedimen; 3) Konsentrasi total logam Pb (Timbel), Chrom (Cr) dan Merkuri (Hg) di biota bentik; 4) Beberapa parameter pendukung seperti pada sedimen : (tekstur sedimen, Bahan Organik Total (BOT), Pengukuran Potensial Redoks (Eh), pH sedimen dan pada permukaan perairan (suhu, DO, pH dan salinitas). Dinamika bahan pencemar logam diamati dengan pengambilan sampel yang dilakukan pada dua musim berbeda yaitu musim hujan (Desember-Februari) dan musim kemarau (Juni-Agustus). 5) Analisis distribusi konsentrasi total logam dan fraksi logam Pb, Cr dan Hg dalam sedimen serta bioavailabilitas logam pada biota bentik dilakukan berdasarkan pola aktifitas antropogenik meliputi aktivitas pelabuhan, pelabuhan Pertamina, PLTU dan Pertambangan.

1.7 Kebaruan (*Novelty*)

Kebaruan dari penelitian ini adalah mengkaji kaitan berbagai aktifitas antropogenik sebagai sumber logam di wilayah perairan Provinsi Maluku Utara dengan distribusi konsentrasi total logam Pb, Cr dan Hg, fraksi geokimia dalam sedimen dan bioavailabilitas pada biota bentik.

1.8 Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka Pikir Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Berbagai aktivitas antropogenik di wilayah perairan Provinsi Maluku Utara antara lain Pelabuhan, pasar ikan, PLTU, pelabuhan minyak, pabrik tahu, kawasan wisata dan pertambangan dapat menghasilkan limbah cair dan limbah padat yang dapat menyebabkan perubahan ekosistem pesisir dan lautan yang dapat mengakibatkan kerusakan ekosistem pesisir dan lautan. Dimana ketika terjadi banjir atau larian air (*run off*) maka limbah tersebut dapat masuk kedalam laut. Kontaminasi logam merupakan salah satu dari dampak adanya

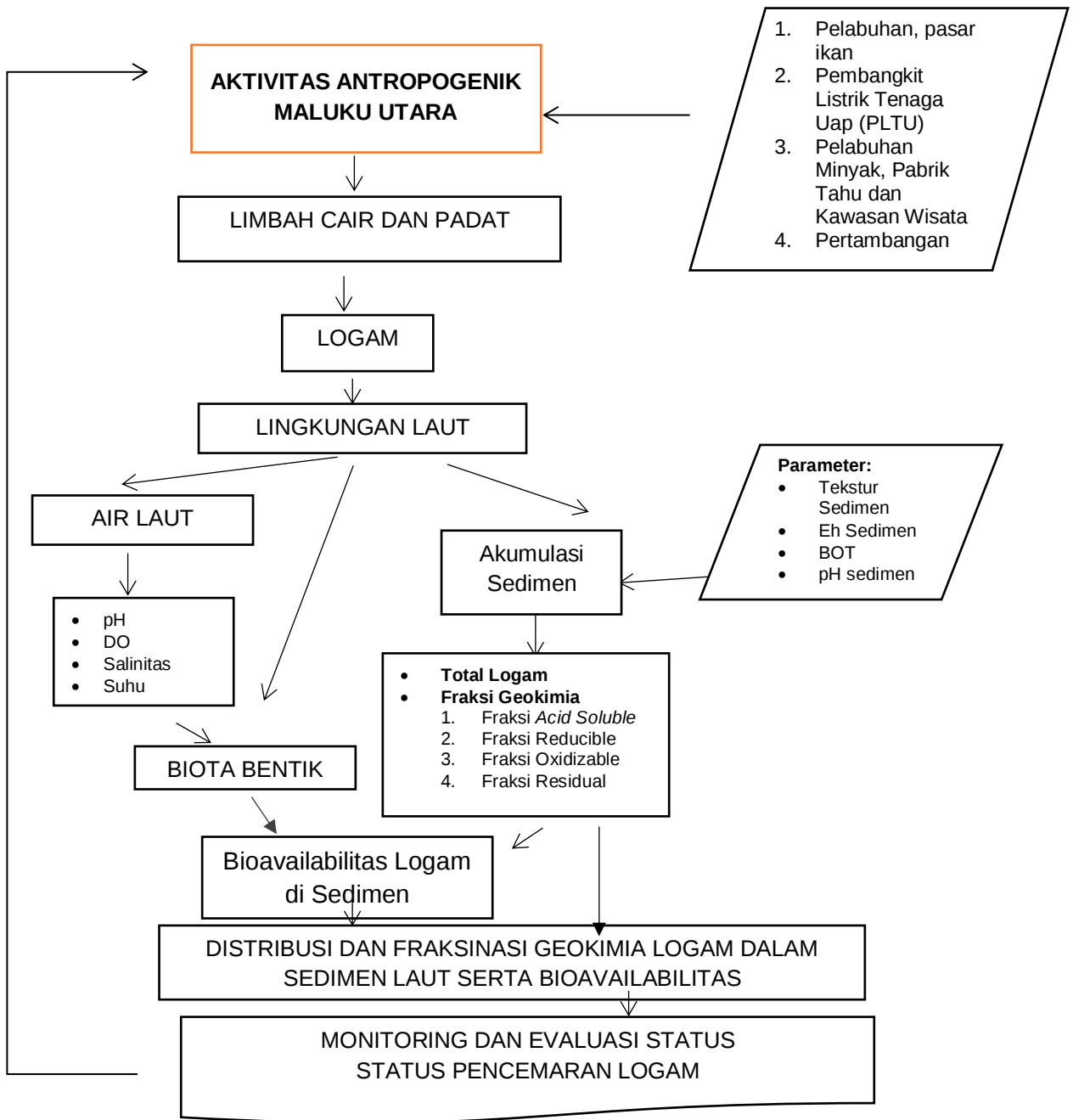


aktivitas antropogenik tersebut masuk ke dalam perairan maka dapat mempengaruhi lingkungan perairan laut seperti suhu, salinitas, pH air, DO, Eh sedimen, pH sedimen dan Total Bahan organik (BOT). Limbah

antropogenik yang masuk ke lingkungan perairan dapat terakumulasi di sedimen melalui proses adsorpsi, presipitasi, co-presipitasi, dan efek biologi (Peng et al., 2018) sehingga konsentrasi logam di sedimen jauh lebih besar dibandingkan di badan air.

Werorilangi (2019) mengatakan bahwa logam yang masuk ke lingkungan perairan pada akhirnya akan terakumulasi di sedimen. Pada saat terakumulasi di sedimen, logam dapat diserap oleh biota bentik dan pada akhirnya akan masuk dalam rantai makanan. Organisme bentik bisa mengakumulasi logam dari lingkungannya melalui beberapa jalur, yaitu melalui proses menelan sedimen dan akumulasi selanjutnya melalui epithelia usus (*gut epithelia*), dari air tanah (*pore water*) dan kolom air melalui proses difusi pada permukaan tubuh (Rainbow, 2002 ; Seick dan Forbes (2004).





Gambar 1. Kerangka pikir penelitian



BAB II

VARIASI MUSIMAN PARAMETER LINGKUNGAN PERAIRAN DI WILAYAH PROVINSI MALUKU UTARA

2.1 Abstrak

Dinamika dan variabilitas parameter lingkungan perairan akan menentukan laju reaksi (kinetika) dan dinamika elemen kimia di dalam perairan seperti polutan. Diantara parameter parameter lingkungan perairan yang berperan adalah suhu, salinitas, pH air, DO, Tekstur sedimen, Eh, pH dan BOT. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi musiman parameter lingkungan perairan di wilayah Provinsi Maluku Utara. Pengambilan sampel kualitas air dilakukan pada 2 musim yaitu musim barat dan musim timur. Dilakukan pada 4 stasiun yaitu Pelabuhan Bastiong sebagai stasiun 1, Perairan sekitar PLTU Pulau Tidore sebagai stasiun 2, Pelabuhan minyak sebagai stasiun 3, dan Perairan sekitar kawasan Pertambangan di Teluk Kao sebagai stasiun 4. Metode yang digunakan yaitu secara insitu. Suhu pada musim barat 28-31°C, musim timur 30-33°C. Salinitas pada musim barat 25-30‰, musim timur 26-31‰. pH air pada musim barat 7-8, musim timur 7,29-7,43. DO air pada musim barat 3,89-7,39 mg/L, musim timur 4,27-5,97 mg/L. pH sedimen pada musim barat 4-5,97, musim timur 4,33-6,43. BOT pada musim barat 2,20-25,66 %, musim timur 3,84-37,17 %. Potensial redoks pada musim barat -55,08- 136,00 %, musim timur -74,41-148,67 %. Tekstur pada musim barat (pasir 61-74%, debu 3-15,33%, pasir halus 15,33- 18,33%, liat 5-15%), pada musim timur (pasir 63-73%, debu 4,67-10%, pasir halus 14,67-18,33, liat 9-12%). Parameter lingkungan perairan di lokasi penelitian mengalami variasi musiman yaitu suhu perairan, salinitas, pH air, pH sedimen, bahan organik terlarut (BOT), potensial redoks (Eh) dan tekstur sedimen sehingga mempengaruhi kandungan logam dalam perairan.

Kata kunci : variasi musiman; parameter lingkungan; sedimen; Maluku Utara

2.2 Pendahuluan

Provinsi Maluku Utara adalah salah satu provinsi di wilayah Indonesia yang memiliki luas wilayah laut lebih besar daripada daratan. Dimana perairan ini dipengaruhi oleh sistem angin musson yang memiliki pola sirkulasi massa air yang berbeda dan bervariasi antar musim. Disamping itu dipengaruhi pula oleh massa air lautan Pasific yang melintasi perairan Indonesia menuju Lautan Hindia menuju Sistem Arus Lintas Indonesia (AIRLINDO). Hal ini sejalan dengan yang dikatakan oleh Wyrski (1961) bahwa keadaan oseanografi di laut sangat dipengaruhi oleh faktor musim dan faktor daratan serta topografi dasar perairan (Ippen, 1966)



Musim menjadi faktor dominan untuk penelitian oseanografi di wilayah perairan. Pengaruh nyata terhadap distribusi setiap parameter. Perubahan dapat mengakibatkan perubahan sifat fisika maupun sifat kimia. Hal ini terjadi karena meningkatnya bahan-bahan organik di musim hujan dan dalam proses degradasinya akan menurunkan kualitas perairan (Sitiy et al., 2021).

Kecenderungan tekanan atmosfer lebih rendah pada musim panas dan sebaliknya pada musim dingin sehingga secara langsung berimplikasi terhadap variabilitas parameter lingkungan perairan. Dinamika dan variabilitas parameter lingkungan perairan akan menentukan laju reaksi (kinetika) dan dinamika elemen kimia di dalam perairan seperti polutan (Najamuddin, 2017). Diantara parameter lingkungan perairan utama yang berperan adalah suhu, salinitas, pH air, pH sedimen, oksigen terlarut, potensial redoks, Bahan Organik Total dan Tekstur sedimen.

Dinamika dan variabilitas parameter fisika kimia di dalam perairan kemudian secara signifikan akan berpengaruh terhadap dinamika polutan di dalam perairan. Secara khusus pada peran estuaria sebagai penyaring alami polutan logam yang ditranspor dari sungai akan menentukan jumlah polutan yang diterima oleh perairan pantai. Jika estuaria mampu berperan secara efektif sebagai penyaring alami polutan logam maka sebagian besar polutan logam yang berasal dari sungai akan mengalami adsorpsi lalu terdeposisi di estuaria sehingga hanya sebagian kecil yang masuk ke perairan pantai. Namun, jika mekanisme adsorpsi tidak berlangsung secara efektif di estuaria maka peran estuaria sebagai penyaring alami polutan logam tidak berfungsi secara efektif maka polutan logam yang berasal dari sungai seluruhnya atau sebagian besar akan masuk ke perairan laut sehingga akan memberikan efek bagi kelangsungan hidup biota akuatik dan penurunan kualitas perairan pantai dan laut.

Penelitian ini akan menjawab bagaimana variasi suhu, salinitas, pH air, pH sedimen, oksigen terlarut, potensial redoks, bahan organik total dan tekstur sedimen pada dua musim berbeda yaitu musim barat (musim penghujan) dan musim timur (musim kemarau) sehingga dapat menentukan tingkat pencemaran logam di wilayah perairan Provinsi Maluku Utara.

2.3 Metodologi Penelitian

2.3.1 Waktu dan tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2022 - Agustus 2023. Lokasi penelitian berada di Perairan Maluku Utara, yang terdiri dari 4 stasiun yaitu Pulau Ternate (Pelabuhan Bastiong dan Pelabuhan minyak), Tidore (Perairan PLTU) dan Teluk Kao di Halmahera (Perairan sekitar kawasan Pertambangan Emas NHM).

2.3.2 Alat dan bahan

Bahan penelitian yang akan diteliti adalah air dan sedimen yang diambil dari perairan Provinsi Maluku Utara. Adapun alat penelitian yang dipergunakan pada saat pengambilan sampel lapangan dapat dilihat pada Tabel 2.1

2.3.3 Metode penelitian



Pengambilan sampel. Pengambilan sampel kualitas air dan sedimen pada 2 musim yaitu musim barat (Desember-Februari) dan (Juni-Agustus). Pengambilan sampel didasarkan pada antropogenik pada tiap stasiun penelitian dan dilakukan pada 4 stasiun yaitu Pelabuhan Bastiong sebagai stasiun 1, Perairan sekitar PLTU

Tidore sebagai stasiun 2 , Perairan sekitar Pelabuhan minyak sebagai stasiun 3, dan Perairan sekitar Kawasan Pertambangan di Teluk Kao sebagai stasiun 4.

Tabel 2.1 Alat yang digunakan dalam penelitian

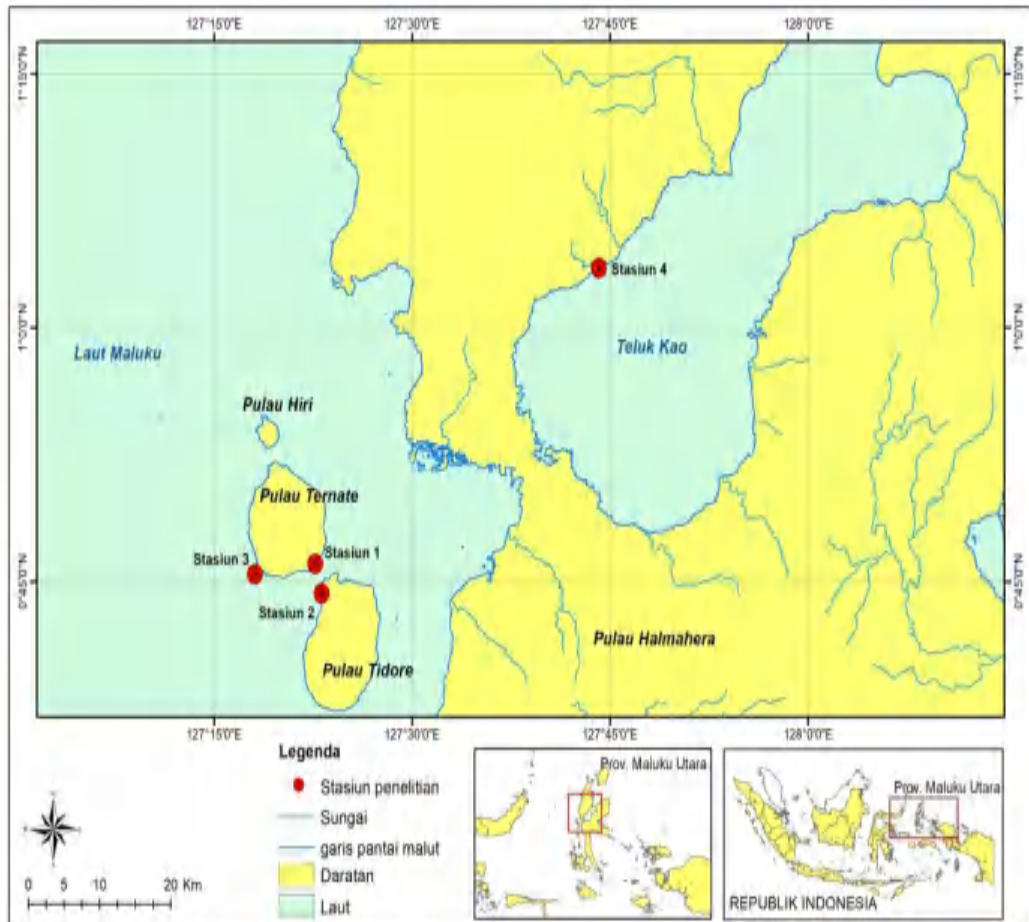
No	Peralatan	Spesifikasi	Kegunaan
1	GPS	Garmin	Penentu posisi stasiun
2	Termometer	Air raksa	Pengukur suhu perairan
3	Handrefraktometer	Atago Master-20m	Pengukur salinitas perairan
4	pH meter digital	Lutron pH-208	Pengukur derajat keasaman perairan
5	DO Meter	Lutron DO-5510	Pengukur kelarutan oksigen
6	Potensial Redoks	Hanna Instrument (HI 8314)	Pengukuran potensial redoks
7	Saringan bertingkat	220 V, 200 watt	Penyaring sedimen
8	Oven	SS- 8 Inc	Pengering sampel
9	Timbangan	Digital elektronik series HZY-B3000R	Pengukur berat sampel
10	Gelas ukur	500 ml	Tempat pencampuran
11	Pipet	Tetes	Pengambil sedimen
12	Desikator	Desikator non vacuum 210 mm	Pendingin sampel
13	Tanur Listrik	PG-SX4-7-12	Pengeringan sampel sedimen
14	Cawan	Porselin 50 ml	Tempat sampel sedimen untuk BOT
15	Segitiga tekstur		Alat penentuan tekstur sedimen
16	Pipa Paralon	Plastik	Pengambil sampel sedimen
17	Kantong plastic	-	Tempat sampel sedimen

Tabel 2.2. Bahan yang digunakan dalam penelitian

No	Bahan	Kegunaan
1	Sedimen	Bahan untuk penelitian
2	Alumunium foil	Alas sedimen ketika ditimbang
3	Air Suling	Untuk pengenceran sampel



bil pada lapisan permukaan kira-kira pada bagian oxic dengan menggunakan pipa paralon (Werorilangi, 2019). Peta stasiun at pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta stasiun penelitian

Tiap stasiun dilakukan pengukuran kualitas air dan sedimen pada 3 titik sebagai ulangan, yaitu Pelabuhan Bastiong (titik 1-3), Perairan Pulau Tidore (titik 4-6), Perairan Jambula (titik 7-9) dan Perairan Teluk Kao (titik 10-12).

Pengukuran parameter lingkungan perairan. Pengukuran parameter lingkungan perairan, antara lain :

1. Suhu perairan

Pengukuran suhu perairan dilakukan dengan termometer digital sesuai dengan SNI 06-6989.23-2005.

2. Salinitas



Salinitas perairan dilakukan dengan handrefraktometer Atago Master sesuai dengan SNI 06-6964.8-2015.

Parameter kualitas air

Salinitas perairan dilakukan dengan pH meter Lutron pH-208 sesuai dengan SNI 06-6964.8-2015.

Dokumen (Dissolved Oxygen, DO)

Pengukuran DO perairan dilakukan dengan DO meter digital Lutron DO-5510 sesuai dengan SNI 06-6989.14-2004.

5. Tekstur sedimen

Analisis tekstur sedimen dilakukan berdasarkan (UNEP, 1995) dengan prosedur sebagai berikut : Mengambil sampel sedimen sebanyak 25 mg dan memisahkan dari komponen lain berupa cangkang organisme kemudian menyaring sampai ukuran 0.063 µm. Selanjutnya memasukkan sampel yang tidak lolos saringan ke dalam oven pada temperatur 105 °C, selanjutnya melakukan pengayakan dengan saringan bertingkat dengan ukuran 2; 0.8; 0.4; 0.15 dan 0.063 µm dan mencatat berat masing- masing ukuran. Sampel yang lolos saringan pada ukuran ayakan terakhir (0.063 µm) kemudian dicampur dengan sampel hasil ayakan pertama.

Memasukkan sampai ke dalam gelas ukur volume 1 liter kemudian dikocok. Melakukan pemipetan pada jangka waktu tertentu, selanjutnya meneteskan pada aluminium foil yang telah diketahui beratnya, kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 100 °C sampai kering. Melakukan penyimpanan dalam desikator selama 10 menit kemudian menimbang. Untuk menentukan fraksi *silt*, pemipetan dilakukan pada 1 menit pertama dan setelah 30 menit pengendapan. Sedangkan fraksi *clay* dapat dilakukan setelah 2 jam pengendapan. Pemipetan dilakukan pada jarak 20 cm dari permukaan air. Sampel selanjutnya ditentukan fraksinya *sand*, *silt*, *clay* (pasir, lanau, dan liat) dengan diproyeksikan dalam segitiga tekstur sedimen dan dihitung persentasenya berdasarkan skala *Wenworth*.

6. Potensial redoks (Eh) dan pH sedimen

Melakukan pengukuran Eh sedimen secara insitu dengan menggunakan alat Eh meter *Hanna Instrument* (HI 8314). Probe yang digunakan adalah buatan *Ionode Australia*, *redox electrode* 0 – 60°C, model IJ64. Pengukuran pH dengan menggunakan pH meter *Hanna Instrument* (HI 8424).

7. Bahan Organik Total (BOT)

Bahan Organik Total (BOT) dalam sedimen dianalisis berdasarkan APHA, AWWA, WEF, 2005 (*Part 5000 Agregat organic constituents*) dengan prosedur sebagai berikut : Melakukan penimbangan cawan lalu mencatat beratnya (dinyatakan dengan A). Selanjutnya memasukkan sampel sedimen basah ke dalam cawan lalu menimbang dan mencatat beratnya (dinyatakan dengan B). Mengeringkan sampel dalam oven pada suhu 60 °C selama 24 jam lalu ditimbang kembali beratnya dan dicatat (dinyatakan dengan C). Setelah itu memanaskan kembali dalam tanur pada suhu 500 °C selama 4 jam lalu menimbang dan mencatat beratnya (dinyatakan dengan D). Persentase karbon organik dalam sedimen merupakan komponen yang hilang dalam proses pembakaran yang dinyatakan sebagai *Loss on Ignition (LOI)*. Untuk mengetahui persentase karbon organik (LOI) dalam sedimen dihitung dengan persamaan:



$$\frac{C-D}{B-A} \times 100 \%$$

= kandungan bahan organik

= berat cawan

= berat cawan dan sedimen basah

= berat cawan dan sedimen kering

berat cawan dan sedimen setelah dipanaskan (berat konstan)

2.4 Analisis Data

Hasil pengukuran kualitas air dibandingkan dengan baku mutu Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 pada Lampiran VIII. Dapat dilihat pada Lampiran 1.

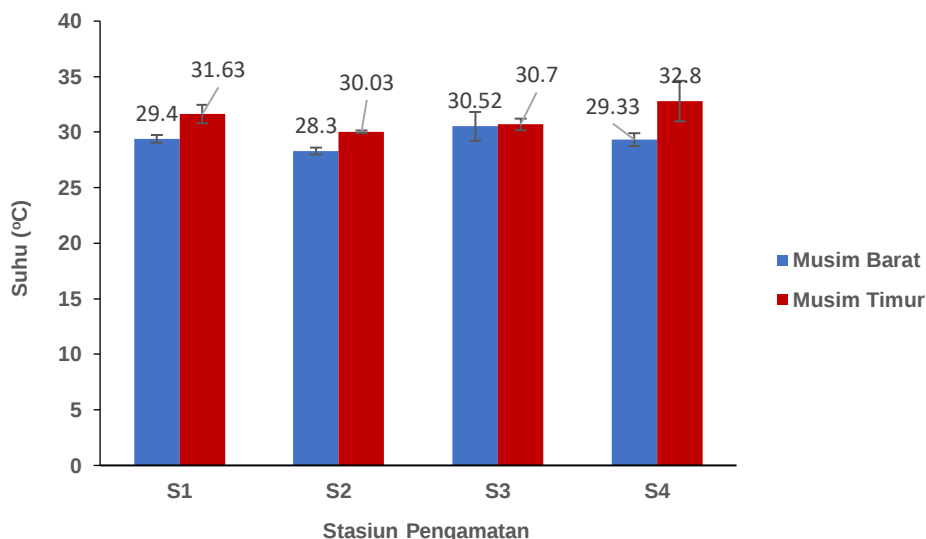
Distribusi parameter lingkungan perairan di analisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk gambar grafik. Korelasi pearson digunakan untuk melihat hubungan antara parameter lingkungan perairan dan perubahan musim. Sedangkan karakteristik parameter lingkungan perairan dianalisis dengan menggunakan analisis komponen utama (PCA) berdasarkan stasiun pengamatan dan hasil parameter lingkungan perairan pada musim barat dan musim timur (Najamuddin, 2017).

2.5 Hasil

Dari hasil pengukuran parameter lingkungan perairan di Maluku Utara diperoleh sebagai berikut :

2.5.1 Suhu

Hasil pengukuran suhu perairan pada musim barat dan musim timur dapat dilihat pada Gambar 2.2

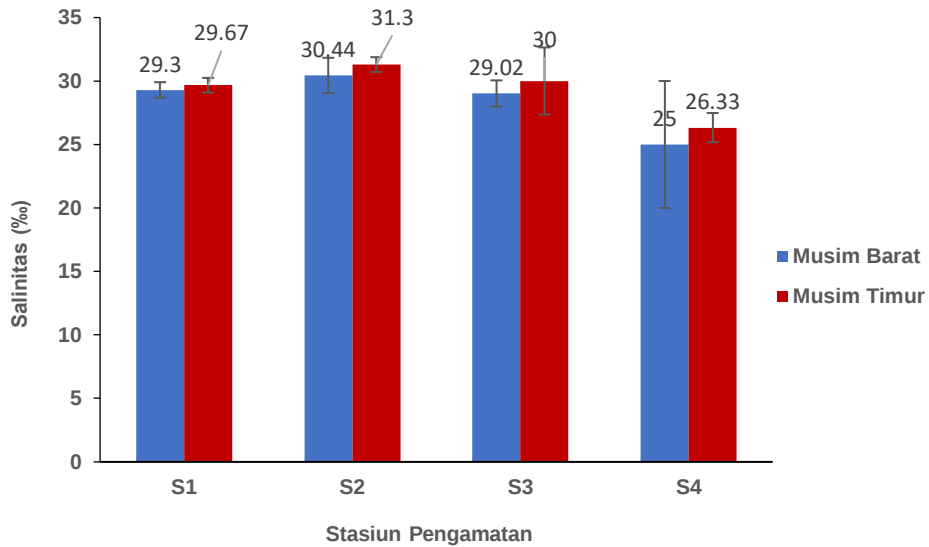


Gambar 2.2. Perbedaan suhu (°C) perairan pada musim barat dan musim timur

2.5.2 Salinitas

Hasil pengukuran salinitas pada musim barat dan musim timur dapat dilihat pada

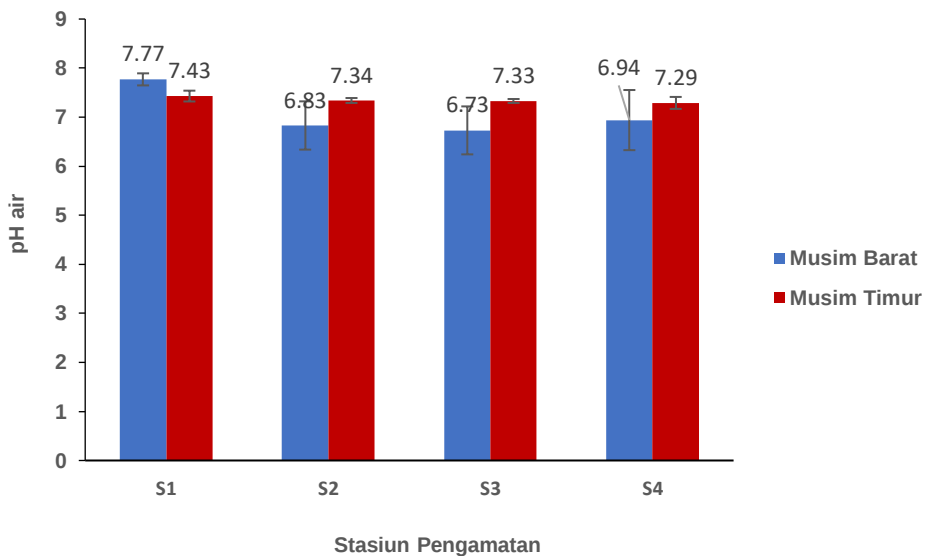




Gambar 2.3 Perbedaan salinitas (‰) pada musim barat dan musim timur

2.5.3 pH air

Hasil pengukuran pH pada musim barat dan musim timur dapat dilihat pada Gambar 2.4.

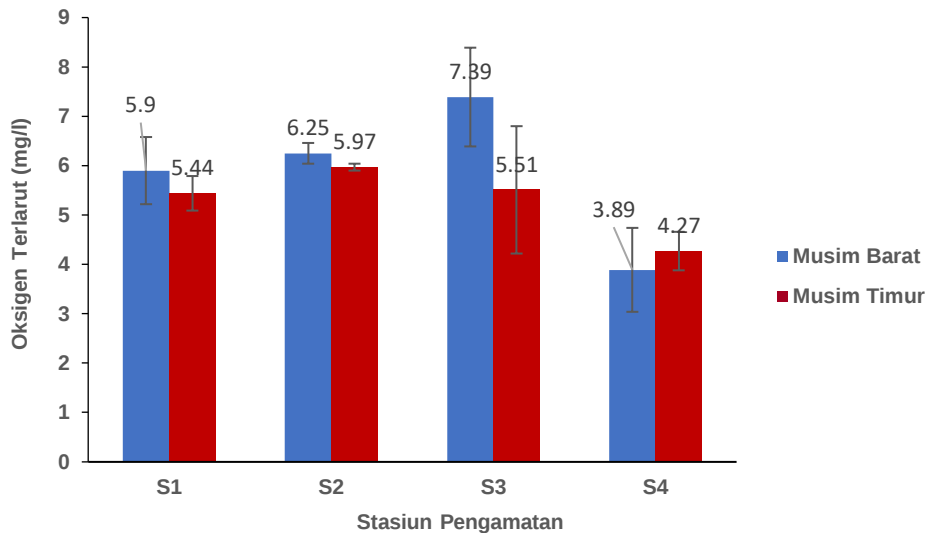


Gambar 2.4 Perbedaan pH air pada musim barat dan musim timur



arat (*Dissolved Oxygen, DO*)

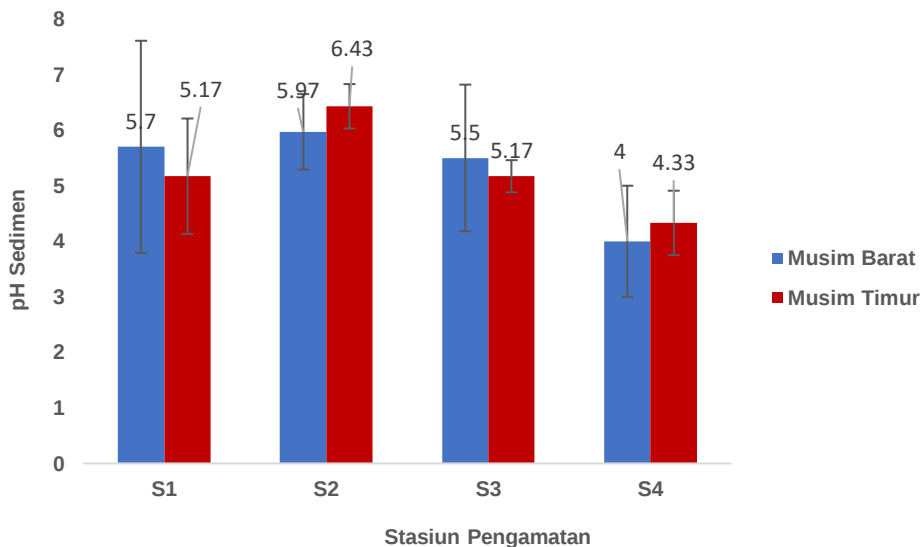
igen terlarut pada musim barat dan musim timur dapat dilihat pada



Gambar 2.5 Perbedaan oksigen terlarut (mg/l) pada musim barat dan musim timur

2.5.5 pH sedimen

Hasil pengukuran pH sedimen pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.6

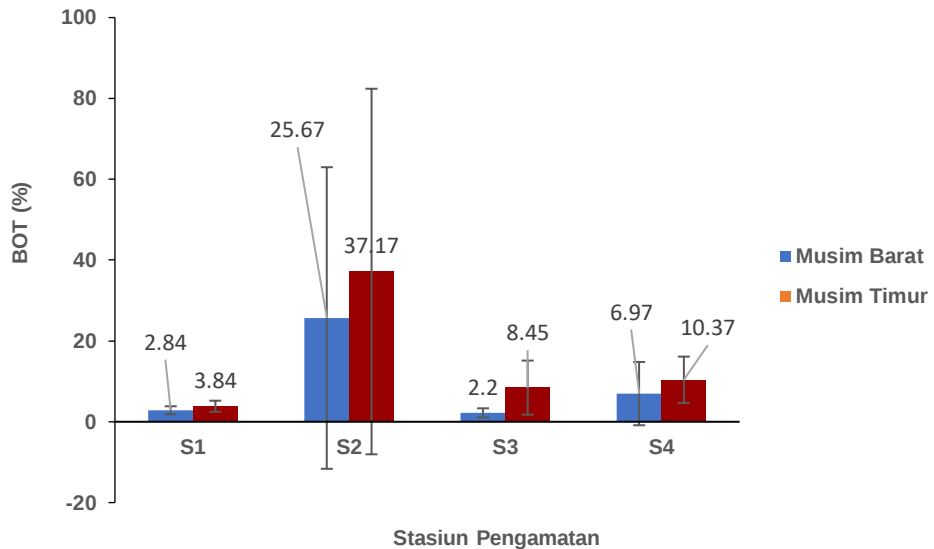


Gambar 2.6. Perbedaan pH sedimen pada musim barat dan musim timur

2.5.6 Bahan Organik Total (BOT) Sedimen



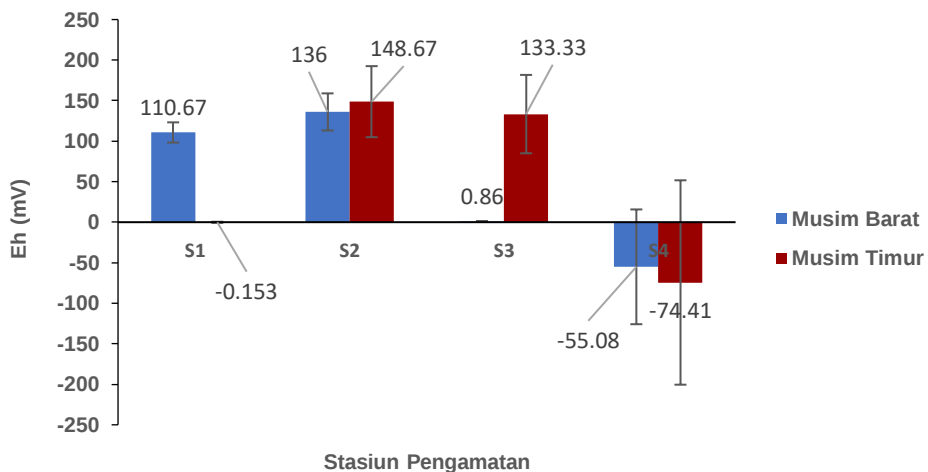
ukuran BOT sedimen pada lokasi penelitian dapat dilihat pada



Gambar 2.7 Perbedaan BOT (%) sedimen pada musim barat dan musim timur

2.5.7 Potensial redoks (Eh) sedimen

Hasil pengukuran Eh sedimen pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.8

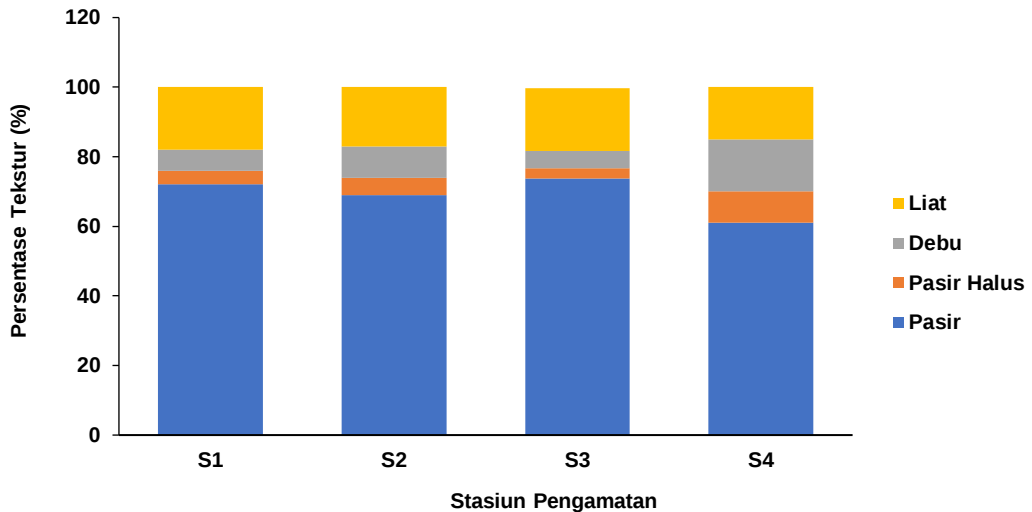


Gambar 2.8 Perbedaan Eh sedimen (mV) pada musim barat dan musim timur

2.5.8 Tekstur sedimen

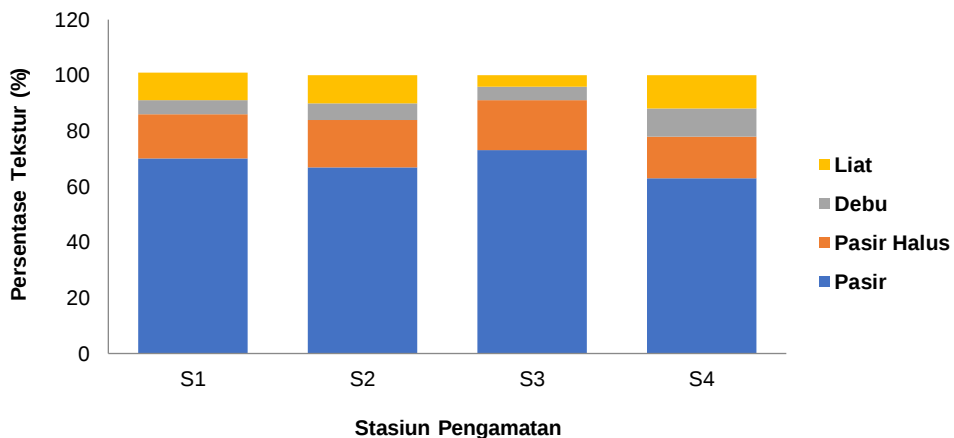
Persentase tekstur sedimen pada musim barat pada lokasi penelitian dapat dilihat pada





Gambar 2.9 Persentase tekstur (%) sedimen pada musim barat

Persentase tekstur sedimen pada musim timur pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Persentase tekstur (%) sedimen pada musim timur

Hasil pengukuran di lokasi penelitian pada musim barat untuk tekstur pasir berkisar antara 61-74% dan untuk tekstur liat 5-15%. Hasil pengukuran pada musim timur untuk tekstur pasir berkisar antara 63-73% dan untuk tekstur liat 9-12%.



Parameter Lingkungan Perairan

Parameter lingkungan perairan di lokasi penelitian untuk musim barat dan musim timur dianalisis dengan korelasi pearson dan analisis komponen utama (PCA). Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.3

Parameter lingkungan perairan untuk musim barat dan musim timur

		BOT	Salinitas	pH Air	pH Sedimen	Eh	Suhu	DO Air	Pasir	Pasir Halus	Debu
Musim Barat	BOT	1									
	Salinitas	0,301	1								
	pH Air	0,113	0,399	1							
	pH Sedimen	0,281	0,557	0,219	1						
	Eh	0,225	.602*	0,395	0,381	1					
	Suhu	-0,474	-0,068	-0,038	-0,107	-0,374	1				
	DO Air	-0,010	.592*	-0,096	0,191	0,437	0,369	1			
	Pasir	-0,353	0,086	0,357	0,038	-0,254	0,052	-0,191	1		
	Pasir Halus	-0,380	-0,227	-0,477	-0,300	-0,076	0,073	-0,128	-0,444	1	
	Debu	-0,315	-.757**	-.611*	-0,426	-0,317	-0,136	-0,465	-0,440	.724**	1
Musim Timur	Liat	-0,190	-0,339	-.737**	-0,361	-0,568	0,403	0,223	-0,116	0,116	0,234
	BOT	1									
	Salinitas	0,264	1								
	pH Air	-0,313	0,212	1							
	pH Sedimen	0,133	.707*	-0,009	1						
	Eh	0,332	.804**	-0,088	.780**	1					
	Suhu	-0,344	-.761**	0,233	-.641*	-.781**	1				
	DO Air	0,279	.906**	0,292	.682*	0,565	-0,567	1			
	Pasir	0,405	.586*	0,071	0,135	0,433	-0,182	0,526	1		
	Pasir Halus	-0,316	-.589*	-0,091	-0,187	-0,312	0,114	-.663*	-.870**	1	
	Debu	-0,080	-0,554	-0,100	-0,394	-.696*	0,438	-0,260	-0,457	0,265	1
	Liat	-0,046	-.614*	-0,099	-0,477	-.755**	0,576	-0,294	-0,419	0,178	.948**

Hasil analisis korelasi Pearson menunjukkan bahwa pada musim barat berdasarkan nilai signifikasi terdapat korelasi yang signifikan antara salinitas dengan Eh, karena memiliki nilai Sig. (2-tailed) sebesar $0.018 < 0.05$. Salinitas dengan DO air karena memiliki nilai Sig. (2-tailed) sebesar $0.0433 < 0.05$. pH air dengan silt karena memiliki nilai Sig. (2-tailed) sebesar $0.006 < 0.05$.

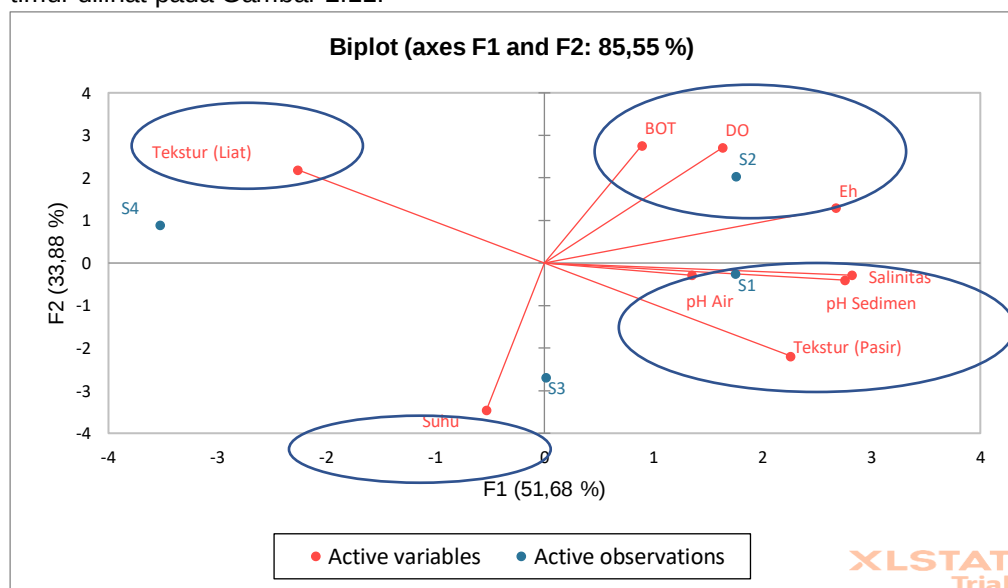


Berdasarkan nilai r hitung menunjukkan adanya hubungan atau as dengan DO air, karena nilai $0.592^* > 0.576$. Nilai korelasi dalam positif, maka menunjukkan bahwa peningkatan nilai salinitas dapat DO air, ataupun sebaliknya. Berdasarkan tanda bintang $*$ pada signifikasi 1% atau 0.01. Nilai r hitung menunjukkan adanya signifikasi antara pH air dengan silt, karena nilai $-0.737^{**} > 0.576$. Nilai

korelasi ini bernilai negatif, maka menunjukkan bahwa peningkatan nilai pH air dapat menurunkan kadar silt, ataupun sebaliknya. Berdasarkan tanda bintang menunjukkan korelasi pada signifikansi 5% atau 0.05.

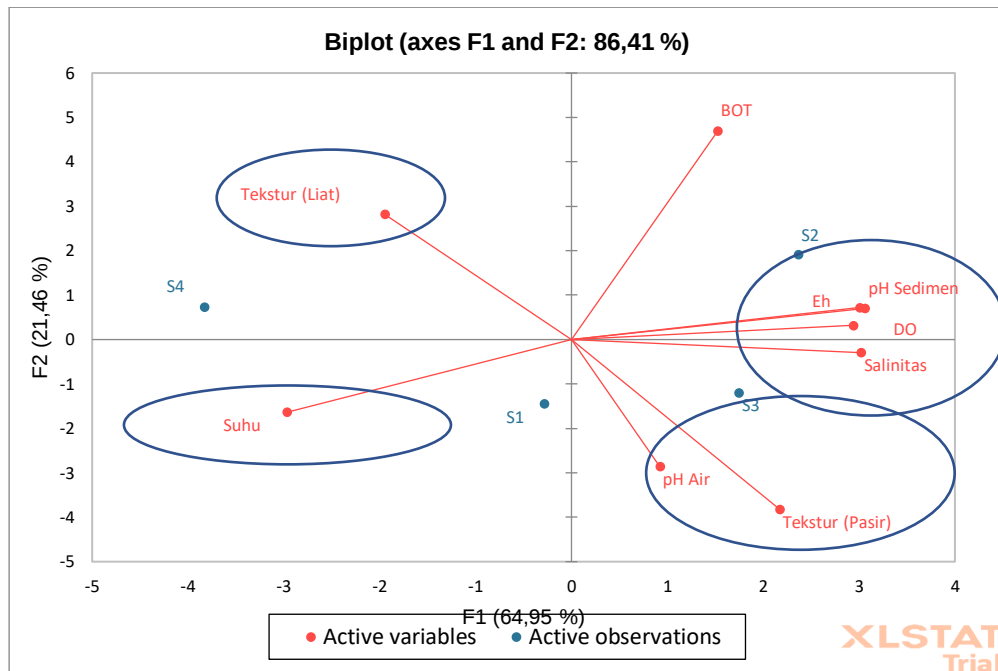
Sedangkan nilai berdasarkan nilai r hitung menunjukkan adanya hubungan atau korelasi antara salinitas dengan pH sedimen karena nilai $0.707^{**} > 0.576$, salinitas dengan Eh karena nilai $0.804^{**} > 0.576$, salinitas dengan suhu karena nilai $-0.761^{**} > 0.576$, salinitas dengan DO air karena nilai $0.906^{**} > 0.576$, salinitas dengan pasir karena nilai $0.586^{*} > 0.576$, salinitas dengan silt karena nilai $-0.614^{*} > 0.576$. pH sedimen dengan Eh karena nilai $0.780^{**} > 0.576$, pH sedimen dengan suhu karena nilai $-0.641^{*} > 0.576$, pH sedimen dengan DO air karena nilai $0.682^{*} > 0.576$. Eh dengan suhu karena nilai $-0.781^{**} > 0.576$, Eh dengan silt karena nilai $-0.755^{**} > 0.576$.

Adapun karakteristik parameter lingkungan perairan pada musim barat dan musim timur dilihat pada Gambar 2.11.



(a)





(b)

Gambar 2.11. Karakteristik lingkungan perairan musim barat (a) dan musim timur (b)

Hasil analisis PCA menunjukkan terdapat variasi musiman dari parameter lingkungan perairan di Stasiun 1, Stasiun 2 dan Stasiun 3, dan stasiun 4. Pada musim barat, Stasiun 1 dicirikan dengan nilai pH air. Tekstur pasir, pH air yang tinggi dan pH sedimen yang tinggi. Stasiun 2 dicirikan dengan nilai Eh yang masuk zona oksidatif, BOT yang tinggi dan DO yang tinggi. Stasiun 3 dicirikan dengan nilai suhu yang tinggi. Stasiun 4 dicirikan dengan nilai tekstur liat yang tinggi.

Pada musim timur, Stasiun 1 dicirikan dengan nilai suhu yang tinggi. Stasiun 2 dicirikan dengan nilai pH sedimen, salinitas yang tinggi, nilai Eh yang masuk zona oksidatif, pH sedimen dan DO yang tinggi. Stasiun 3 dicirikan dengan nilai tekstur pasir dan pH air yang tinggi. Stasiun 4 dicirikan dengan nilai tekstur liat yang tinggi.

2.7 Pembahasan

2.7.1 Suhu

Nilai kisaran suhu yang diperoleh dari hasil pengukuran di lokasi penelitian pada empat stasiun pada dua musim berbeda yaitu musim barat berkisar antara 28-31 °C dan pada musim timur berada pada kisaran 30-33 °C (Gambar 2.2). Nilai ini masih sesuai standar baku mutu sesuai Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 Lampiran VIII yaitu perairan



Optimized using
trial version
www.balesio.com

permukaan perairan pada musim barat lebih rendah karena di atmosfer dimana kurangnya penyinaran matahari dan tingginya sebaliknya, pada musim timur penyinaran matahari berlangsung juga suhu perairan meningkat. Pernyataan ini senada dengan Nontji di permukaan dipengaruhi oleh kondisi meteorologi seperti curah

hujan, penguapan, kelembaban udara, suhu udara, kecepatan angin, dan intensitas radiasi matahari.

Tingginya nilai suhu pada musim timur dibandingkan musim barat sesuai dengan penelitian Millenia (2022) bahwa hal ini disebabkan oleh angin musson yang memiliki kecepatan yang lebih tinggi pada musim barat dibandingkan musim timur. Peningkatan kecepatan angin terjadi pada bulan periode musim timur (Juni-Agustus) hingga awal musim peralihan 2 (September) kemudian kecepatan angin mengalami penurunan yang dimulai pada musim peralihan 1 (Maret-Mei). Selanjutnya dikatakan bahwa pada musim timur curah hujan memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan pada musim barat.

Perbedaan suhu air dengan kisaran yang berbeda pada kedua musim ini diduga karena faktor perbedaan waktu pada saat pengamatan. Menurut Effendi (2003) bahwa suhu perairan dipengaruhi oleh musim, lintang (latitude), ketinggian dari permukaan laut (altitude), waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan dan aliran serta kedalaman badan air.

Berdasarkan hasil penelitian Patty et al. (2020) bahwa pada musim barat intensitas curah hujan cukup tinggi disertai tiupan angin, sehingga menyebabkan suhu airnya rendah. Dengan curah hujan yang tinggi berarti keadaan langit tidak cerah (ditutupi awan), sehingga penyinaran matahari kurang efektif bagi pemanasan massa air permukaan secara langsung, mengakibatkan suhu permukaan air laut menjadi turun. Demikian juga dengan meningkatnya kecepatan angin yang berhembus di atas permukaan laut menyebabkan penguapan dan mengalirkan panas dari laut ke udara. Penguapan dan pemindahan panas itu menyebabkan laut kehilangan energi dan mengakibatkan pendinginan. Begitu pula sebaliknya Musim Peralihan-I, suhu airnya tinggi karena curah hujan rendah. Rendahnya curah hujan dan melemahnya angin yang berhembus di atas permukaan laut berarti keadaan langit semakin cerah dan lapisan permukaan air semakin tenang, sehingga penyinaran matahari sangat efektif bagi pemanasan massa air pada lapisan permukaan secara langsung yang mengakibatkan suhu permukaan menjadi naik. Selanjutnya menurut Wyrski (1961) dan Patty (2019) mengatakan bahwa perubahan musim dapat mengakibatkan perubahan pola distribusi suhu air laut.

Menurut Officer (1976) bahwa kondisi suhu air di suatu perairan dipengaruhi terutama oleh kondisi atmosfer, cuaca dan intensitas matahari yang masuk ke laut. Selain itu suhu air juga dipengaruhi oleh faktor geografis dan dinamika arus (Pond & Pickard, 1978). Hal ini dapat dilihat pada rendahnya variasi suhu pada hasil penelitian untuk musim barat baik pada Stasiun 1, stasiun 2, stasiun 3 dan stasiun 4. Sedangkan pada musim timur mempunyai variasi suhu yang lebih tinggi.

Najamuddin (2017) menyatakan bahwa perbedaan variasi suhu musiman terjadi karena perbedaan karakteristik wilayah. Untuk estuaria dan teluk memiliki karakter



di dari permukaan sampai ke dasar karena merupakan kedalaman mixed layer depth) sehingga variasi suhu sangat dipengaruhi oleh daratan. Pada musim barat dengan curah hujan yang tinggi massa air dingin dari sungai dan presipitasi dari atmosfer penurunan suhu permukaan laut dan sebaliknya pada musim timur air hangat dari sungai dan evaporasi yang tinggi sehingga suhu jadi lebih hangat. Pada perairan lepas, variasi suhu permukaan

selain dipengaruhi oleh kondisi atmosfer juga sangat dipengaruhi oleh sirkulasi massa air vertikal dan sirkulasi regional dan tidak lagi dipengaruhi oleh aliran massa air sungai. Hal ini dapat dilihat pada stasiun 4, pada musim barat suhu mencapai 29°C, sedangkan pada musim timur suhu 33°C.

Reaktivitas elemen kimia dipengaruhi oleh variasi suhu dalam perairan akan mempengaruhi reaktivitas elemen kimia yang ada di dalamnya termasuk logam. Pada saat suhu perairan rendah menyebabkan kecenderungan elemen logam terlarut dalam kolom air teradsorpsi oleh partikel. Akibatnya konsentrasi logam terlarut dalam kolom air cenderung menurun sedang logam dalam bentuk partikulat meningkat konsentrasinya. Sebaliknya, kenaikan suhu perairan menyebabkan peningkatan kelarutan sehingga meningkatkan proses desorpsi logam ke dalam kolom air yang diikuti peningkatan konsentrasi logam terlarut di dalam kolom air. Peningkatan laju desorpsi akibat peningkatan suhu terjadi karena kenaikan suhu menstimulasi mobilitas molekul semakin tinggi sehingga molekul bergerak lebih bebas menyebabkan ikatan kimia yang terbentuk antara partikel dengan ion logam terlepas (Najamuddin, 2017). Rendahnya nilai parameter suhu pada musim barat menyebabkan semakin tingginya nilai total logam Pb, Cr dan Hg pada musim yang sama.

2.7.2 Salinitas

Hasil pengukuran salinitas yang diperoleh di lokasi penelitian pada empat stasiun di dua musim berbeda yaitu musim barat berkisar antara 25-30 ‰ dan pada Musim Timur berada pada kisaran 26-31 ‰. Nilai salinitas ini jika dibandingkan dengan baku mutu PP Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk air laut masih dibawah standar baku mutu yaitu untuk biota 33-34‰.

Salinitas pada musim barat lebih rendah dibanding musim timur karena adanya input massa air tawar yang lebih besar dari aliran sungai oleh tingginya curah hujan maupun dari presipitasi secara langsung dari atmosfer masuk ke dalam perairan estuaria dan laut (Najamuddin, 2017).

Menurut Patty (2020) bahwa faktor yang mempengaruhi hingga berbedanya nilai salinitas di kedua musim adalah cuaca dan angin. Banjarnahor (2000) mengemukakan bahwa perbedaan nilai salinitas disebabkan oleh terjadinya pengacauan (mixing) akibat gelombang laut ataupun gerakan massa air yang ditimbulkan oleh tiupan angin). Pada musim barat dikenal tiupan angin barat yang sangat kuat disertai gelombang dan arus menyebabkan tingkat penguapan (evaporasi) terhambat sehingga diduga dapat memperkecil nilai salinitas. Selain itu musim barat di wilayah ini merupakan musim hujan, dengan curah hujan yang tinggi menyebabkan salinitas air permukaannya rendah. Sedangkan menurut Nontji (2002) bahwa salinitas diduga dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya oleh pola sirkulasi air, penguapan (evaporasi), curah hujan (presipitasi) dan adanya aliran sungai/run off.



2.3 terlihat bahwa variasi salinitas terjadi pada stasiun 1, stasiun 2 dan stasiun 3 sesuai dengan lokasi pengamatan bahwa stasiun 1, stasiun 2 dan stasiun 3 berada di perairan pantai. Sedangkan rendahnya nilai salinitas pada Stasiun 4 karena zona tersebut adalah di Teluk Kao dengan posisi pengambilan sampel di dekat bobo dan Taolas. Fluktuasi salinitas yang paling besar terlihat di Stasiun 4 baik pada musim barat maupun timur. Tingginya salinitas pada musim timur disebabkan oleh beberapa pengaruh seperti tingginya evaporasi

dan rendahnya presipitasi (curah hujan), sedang pada musim barat salinitas lebih rendah karena tingginya presipitasi dan rendahnya evaporasi.

Hatje et al. (2003) menyatakan bahwa salinitas adalah salah satu faktor yang sangat berperan dalam mekanisme adsorpsi-desorpsi logam. Di air laut, laju dan tingkat adsorpsi berkurang dibandingkan dengan air tawar. Perbedaan ini mungkin disebabkan karena terjadinya persaingan ion utama air laut (khususnya Ca dan Mg) dengan logam untuk tetap aktif pada partikel, dan juga klorkompleksasi.

Penurunan salinitas akan berpengaruh pada peningkatan sifat toksik logam dan tingkat akumulasi logam akan meningkat (Eshmat et al., 2014). Hal ini terbukti pada musim barat mempunyai kandungan total logam yang lebih tinggi daripada musim timur, karena pada musim barat nilai salinitasnya lebih rendah dari musim timur.

2.7.3 Derajat keasaman (pH) air

Hasil pengukuran pH yang diperoleh di lokasi penelitian pada empat stasiun pada dua musim berbeda yaitu musim barat berkisar antara 7-8 dan pada musim timur berada pada kisaran 7,29-7,43. Nilai pH ini sesuai dengan baku mutu PP Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk air laut khususnya untuk biota dan wisata bahari adalah 7- 8,5. Secara alami, pH perairan tawar lebih bersifat asam sedang pH perairan laut bersifat basa, hal ini sesuai dengan pH yang terdapat pada semua stasiun pengamatan.

Berdasarkan Gambar 2.4, terjadi peningkatan pH pada Stasiun 1 baik pada musim barat maupun musim timur yang merupakan wilayah perairan pantai. Peningkatan pH tersebut disebabkan oleh adanya sistem buffer dari CO₂ dan komponen ion major air laut seperti Na, K, Ca, Mg bersifat basa. Tingginya nilai pH pada perairan laut, disebabkan keberadaan karbonat, hidroksida, dan bikarbonat yang menaikkan kebasaan air (Saeni, 1989 dan Effendi, 2003). Komponen ion mayor dan karbon dioksida di dalam air bersalinitas lebih tinggi dan bersifat basa menyebabkan kelarutan elemen kimia menjadi rendah sehingga logam cenderung mengalami adsorpsi lebih tinggi (Saeni, 1989; De Vitre, 1994). Dan nilai pH menjadi rendah pada stasiun 2, stasiun 3 dan stasiun 4 pada musim barat hal ini dipengaruhi oleh massa air dari beberapa muara sungai, curah hujan maupun banyaknya kandungan ion hydrogen.

Kisaran pH di stasiun 4 yang merupakan muara sungai pada musim barat adalah 6,56-6,62 dan pada musim timur berkisar antara 7,16 -7,32. Kisaran pH yang diperoleh di lokasi penelitian cukup sesuai bagi berlangsungnya proses adsorpsi logam berat sebagaimana Bibby dan Webster-Brown (2006) mengemukakan bahwa logam mengalami adsorpsi pada kisaran pH antara 3,5-7 namun optimum terjadi pada kisaran pH antara 6,5-7,5 seperti yang dikatakan oleh Hatje et al. (2003).

Hatje et al. (2003) menyatakan bahwa pH dapat mempengaruhi nilai adsorpsi logam (*trace metal*). Perubahan pH mempengaruhi adsorpsi karena perubahan pH berhubungan dengan mekanisme pertukaran ion. Proses pertukaran ion selanjutnya



menentukan interaksi dalam larutan dan permukaan partikel. pH terhadap laju adsorpsi terlihat pada pH rendah (asam) laju sebaliknya pada pH tinggi (alkalis) laju adsorpsi lebih tinggi.

n terlarut (DO)

igen terlarut yang diperoleh di lokasi penelitian pada empat stasiun berbeda yaitu musim barat berkisar antara 3,89-7,39 dan pada musim

timur berada pada kisaran 4,27-5,97. Nilai oksigen terlarut ini jika dibandingkan dengan baku mutu PP Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VIII untuk air laut sesuai standar baku mutu yaitu untuk biota dan wisata bahari adalah >5.

Sumber DO dapat berasal dari difusi oksigen yang terdapat di atmosfer (sekitar 35%) dan aktivitas fotosintesis oleh tumbuhan air dan fitoplankton. Menurut Najamuddin (2017) bahwa perbedaan musim tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap variasi kandungan oksigen terlarut di dalam perairan baik pada perairan sungai, estuaria, maupun pantai. Kondisi ini mengindikasikan bahwa variasi kandungan oksigen terlarut di dalam perairan tidak berkaitan erat dengan variasi kondisi atmosfer namun variasinya sangat dipengaruhi oleh aktivitas organisme akuatik dan potensi input polutan organik atau sumber alami di dalam perairan.

Menurut Fardiaz (1992) bahwa kandungan oksigen terlarut yang rendah dalam suatu perairan dapat disebabkan oleh adanya input bahan organik dalam jumlah yang besar sehingga organisme pengurai membutuhkan oksigen dalam jumlah yang besar untuk menguraikan bahan organik tersebut. Hal ini sesuai dengan hasil pada stasiun 4 yang merupakan Teluk Kao, dimana nilai yang didapatkan <5. Hasil ini sesuai dengan pernyataan Simanjuntak (2007) yang melakukan penelitian tentang oksigen terlarut di Teluk Klabat bahwa salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan kadar oksigen terlarut biasanya disebabkan perubahan kualitas perairan akibat banyaknya limbah yang mengandung karbon organik.

Terjadinya kondisi anoksik (kekurangan oksigen) akibat input bahan organik dalam jumlah yang besar di perairan dapat mengakibatkan kelarutan trace element secara umum menjadi lebih rendah sehingga mudah mengendap. Sebaliknya, hal itu tidak berlaku pada besi (Fe) dimana pada kondisi oksigen dalam jumlah yang banyak dalam perairan Fe^{2+} akan dioksidasi sehingga berubah menjadi Fe^{3+} sehingga kelarutannya menjadi rendah dan mudah mengendap ke dasar perairan. Demikian pula pada logam Cr dimana terjadi reaksi oksidasi pada kondisi ketersediaan oksigen terlarut dalam jumlah yang cukup akan membentuk ion logam bervalensi lebih besar sehingga memiliki kelarutan yang lebih rendah dan mudah membentuk agregat kemudian mengendap seperti pada reaksi $\text{Cr}^{4+} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Cr}^{6+}$ (Moore dan Ramamoorthy, 1984).

Pada kondisi yang kekurangan oksigen maka reaksi reduksi terhadap ion-ion logam terjadi sehingga terbentuk spesiasi logam yang memiliki kelarutan yang rendah seperti Hg atau Hg^+ dan jika terdapat sulfid maka reaksi reduksi membentuk HgS atau ZnS yang bersifat stabil tetapi dalam kondisi oksik maka ion-ion logam mengalami reaksi oksidasi dan membentuk spesiasi logam yang memiliki kelarutan yang tinggi seperti Hg^{2+} (Sanusi, 2006).



man (pH) sedimen

ngambarkan kemudahan nutrient terserap oleh alga dan tumbuhan (Indy et al., 2012). Pada tumbuhan laut pH sedimen menentukan seberapa banyak hara diserap, pada umumnya unsur hara mudah diserap tanaman netral karena pada pH tersebut kebanyakan unsur hara mudah

Rowe (2020) menyatakan bahwa proses reduksi bahan organik dapat mempengaruhi pH sedimen, yaitu : 1. **Produksi Asam Organik:** Beberapa mikroorganisme dalam proses reduksi bahan organik menghasilkan asam organik sebagai produk sampingan. Asam-asam ini dapat menurunkan pH sedimen karena sifat asamnya. 2. **Konsumsi Oksigen:** Proses reduksi biasanya terkait dengan konsumsi oksigen oleh mikroorganisme. Jika oksigen dikonsumsi dalam jumlah besar, dapat terjadi kondisi anaerobik yang menghasilkan senyawa-senyawa yang bersifat asam. 3. **Pembebasan Senyawa Sulfat:** Beberapa mikroorganisme dalam proses reduksi bahan organik juga dapat melepaskan sulfat yang kemudian dapat berinteraksi dengan air dan membentuk asam sulfat, yang dapat menurunkan pH sedimen.

Hatje et al. (2003) menyatakan bahwa pH dapat mempengaruhi nilai adsorpsi logam (*trace metal*). Perubahan pH mempengaruhi adsorpsi karena perubahan pH berhubungan dengan mekanisme pertukaran ion. Proses pertukaran ion selanjutnya berperan dalam menentukan interaksi dalam larutan dan permukaan partikel. Pengaruh langsung pH terhadap laju adsorpsi terlihat pada pH rendah (asam) laju adsorpsi rendah dan sebaliknya pada pH tinggi (basa) laju adsorpsi lebih tinggi

Hal yang sama juga dikemukakan oleh (Sanusi, 2006) bahwa perubahan pH mempengaruhi laju adsorpsi melalui mekanisme perubahan kelarutan elemen kimia di dalam air. Pada pH basa kelarutan elemen kimia menjadi rendah sehingga mudah diadsorpsi oleh partikel, sebaliknya pH asam menyebabkan kelarutan elemen kimia menjadi tinggi sehingga sulit diadsorpsi oleh partikel. Kenaikan pH (bersifat basa) akan mengubah kestabilan elemen kimia dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang kemudian membentuk ikatan kimia dengan partikel sehingga terjadi peningkatan adsorpsi. Pada pH rendah (bersifat asam) jumlah proton akan meningkat sehingga mengganti ion-ion logam yang terikat pada permukaan partikel melalui mekanisme pertukaran kation akibatnya laju desorpsi ion-ion logam mengalami peningkatan.

Kushartono (2009) menyatakan pH pada permukaan sedimen lebih tinggi daripada lapisan bawahnya akibat dari seresah yang mengalami dekomposisi pada permukaan lebih banyak sehingga sedimen mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi yang menyebabkan sedimen tanah menjadi masam. Semakin tinggi kandungan pH pada sedimen maka kandungan bahan organik akan semakin rendah hal ini disebabkan oleh karena lambatnya proses penguraian daun mangrove menjadi bahan organik. Hal ini sesuai dengan hasil pada Stasiun 1 dan Stasiun 3 yang termasuk dalam zona oksidatif (Eh tinggi) dimana pada Stasiun 1 dan Stasiun 3 mempunyai presentase BOT yang rendah.

Nilai kisaran pH sedimen yang diperoleh dari hasil pengukuran di lokasi penelitian pada empat stasiun pada dua musim berbeda yaitu musim barat berkisar antara 4-5,96 dan pada musim timur berada pada kisaran 4,33-6,43 (Gambar 4.3).



musim timur lebih tinggi daripada musim barat, hal sejalan dengan lebih pada musim timur lebih tinggi dibandingkan musim barat.

Halai BOT pada Stasiun 4 untuk musim barat dan timur menyebabkan nilai pH sedimen serta rendahnya nilai potensi redoks (Eh-) terjadinya penurunan kadar oksigen di perairan akibat dekomposisi mikroorganisme dan terjadinya pembebasan asam sulfat (Rowe, menurut Najamuddin (2020) bahwa pada kondisi oksigen rendah

akan terjadi reaksi reduksi sehingga senyawa kimia yang terbentuk adalah H_2S , CH_4 , N_2 , Fe^{2+} dan Mn^{2+} yang bereaksi membentuk endapan kompleks.

Pada Stasiun 1 untuk musim timur terjadi peningkatan persentase BOT sehingga menyebabkan terjadi penurunan nilai pH sedimen dan nilai potensial redoks. Hal ini juga sejalan dengan rendahnya nilai kelarutan oksigen (DO). Sedangkan nilai BOT yang tinggi serta nilai pH sedimen pada stasiun 2 dan stasiun 3 serta nilai potensial redoks yang masuk dalam zona transisi (oksidasi), karena stasiun ini berada dekat garis pantai menyebabkan terjadinya sirkulasi air secara terus menerus dan mempunyai nilai kandungan oksigennya meningkat, dan pada akhirnya meningkatkan nilai potensial redoks (Najamuddin, 2020). Tingginya nilai potensi redoks pada Stasiun 2 dan Stasiun 3 seiring dengan tingginya nilai kelarutan oksigen (DO). Menurut Najamuddin (2020) bahwa pada kondisi oksigen cukup tersedia akan terjadi reaksi oksidasi dimana senyawa kimia yang terbentuk adalah SO_4^{2-} , CO_2 , CO_3^{2-} , NO_3^- , Fe^{3+} dan Mn^{4+} yang bereaksi membentuk endapan kompleks.

2.7.6 Bahan Organik Total (BOT) sedimen

Bahan organik dalam perairan terdapat dalam dua bentuk yaitu bahan organik terlarut yang berukuran $< 0,5 \mu\text{m}$ dan bahan organik tidak terlarut (partikulat) yang berukuran $> 0,5 \mu\text{m}$. Jumlah bahan organik terlarut dalam perairan biasanya melebihi rata-rata jumlah bahan organik tidak terlarut. Komposisi bahan organik tidak terlarut sekitar 1/5 bagian dari bahan organik terlarut. Semua bahan organik ini dihasilkan oleh organisme hidup melalui proses metabolisme dan hasil pembusukan maupun dari buangan limbah ke dalam perairan.

Komposisi bahan organik sebagian besar tersusun dari unsur atau senyawa karbon sehingga konsentrasi karbon dalam suatu lingkungan perairan dapat mewakili konsentrasi bahan organik. Sumber bahan organik dalam perairan dapat berasal dari daratan atau dari dalam perairan itu sendiri. Sumber bahan organik karbon terlarut di dalam perairan bersumber dari proses alami dan buangan dari hasil aktivitas manusia. Sumber alami dapat berasal dari daratan ditranspor dan masuk ke perairan estuaria dan laut melalui presipitasi dari atmosfer dan aliran sungai. Bahan organik karbon terlarut yang berasal dari air sungai bisa mencapai 20 mgC/l , terutama berasal dari pelepasan *humic material* dan hasil penguraian organisme mati seperti serasah yang jatuh di tanah.

Johanes (1968) ; Riley dan Chester (1971) menyatakan ekresi dari organisme seperti protozoa, zooplankton dan binatang laut lainnya merupakan sumber yang penting bahan organik karbon terlarut di dalam perairan. Selain itu, bahan organik karbon terlarut dalam perairan juga berasal dari karbondioksida yang dihasilkan oleh fitoplankton. Konsentrasinya tergantung pada keseimbangan antara rata-rata organik karbon terlarut yang dibentuk oleh hasil pembusukan, ekskresi dan rata-rata hasil penguraian atau pemanfaatannya.



enyatakan distribusi bahan organik terlarut, partikulat, dan organik lainnya dengan produktivitas primer. Konsentrasi bahan organikengaruhi variasi musim dan kedalaman. Pada perairan yangmusim, pada musim semi dan awal musim panas merupakan kemudian menurun pada musim panas. Pada musim gugur, awal rasi sedikit menurun.

Menurut Maslukah (2013) bahwa kandungan bahan organik total erat kaitannya dengan ukuran butiran sedimen. Sedimen perairan yang mempunyai presentase ukuran butir yang berbeda akan mempunyai kandungan bahan organik yang berbeda pula. Pada umumnya sedimen yang mempunyai ukuran partikel yang halus akan diikuti oleh kenaikan jumlah bahan organiknya. Semakin halus sedimen, maka kemampuan dalam mengakumulasi bahan organik semakin besar.

Menurut Hickmah et al, 2021 bahwa banyaknya ruang pori makro pada sedimen yang didominasi pasir akan menyebabkan kemampuan menahan air rendah sehingga kerapatan sedimennya rendah. Kondisi demikian menyebabkan sedimen mudah mengalami pencucian sehingga menyebabkan penurunan jumlah karbon organik yang tersimpan dalam sedimen (Mahasani et al, 2015).

Persentase bahan organik total dalam sedimen pada stasiun 2 baik pada musim barat dan musim timur mempunyai persentase nilai yang paling tinggi yaitu pada musim barat 25.67% dan musim timur 37.17%. Tingginya nilai BOT disebabkan karena pada stasiun 2 titik 2 ini merupakan dermaga tempat tertambatnya kapal pembawa batu bara. Menurut Daud, et al. (2020) PLTU Tidore menggunakan batubara *kelas rendah (Low Rank)*. Batu bara ini digunakan oleh PLTU Kota Tidore sebagai bahan bakar untuk sumber listrik. Dampak terjadinya tumpahan batu bara ketika proses pemindahan dari kapal ke daratan yang pada akhirnya menyebabkan lokasi perairan Stasiun 2 pada dasar perairan telah tertutupi oleh batu bara. Tingginya nilai BOT pada batubara sesuai yang dikatakan oleh Finkelman et al. (2019) bahwa batubara adalah bahan kompleks yang dibentuk oleh diagenesis bahan organik dan menggabungkan berbagai mineral dan unsur kimia. Batubara yang terbentuk dari sisa-sisa atau spora alga disebut sebagai batubara sapropelitik dan yang dihasilkan dari penguraian tumbuhan tingkat tinggi disebut batubara humat; yang terakhir merupakan jenis batubara yang paling melimpah dan digunakan untuk pembangkit listrik serta pembuatan besi dan baja. Menurut Akimbekov et al. (2021) bahwa kandungan bahan organik (SOM) pada batubara LRC (Low Rank Coal) sangat tinggi, ditandai dengan kandungan zat humat (HS) yang tinggi (<90%).

HS dapat diekstraksi dari batubara menggunakan alkali, asam, dan pelarut organik. HS adalah kompleks yang relatif stabil dan menampilkan beragam gugus fungsi yang membantu menciptakan lingkungan tanah yang sehat dengan meningkatkan agregasi tanah, aktivitas mikroba, fungsi enzimatis, penyerapan karbon, retensi nutrisi, dan imobilisasi polutan. Sifat adsorpsi yang baik dari LRC dengan pemanfaatan HS telah membangkitkan minat yang besar terhadap potensinya sebagai adsorben lingkungan yang serba guna. Penerapan bahan organik eksogen seringkali penting untuk meningkatkan kesuburan tanah dan pengelolaan unsur hara. Hanya perlakuan seperti ini yang secara substansial dapat menstimulasi aktivitas mikroba. Perubahan LRC meningkatkan aktivitas mikroba tanah.



a Stasiun 4 sebesar 6.97% untuk musim barat dan 10,37% untuk
iya nilai pada stasiun ini disebabkan karena di wilayah perairan ini
ngai Taolas dan Sungai Tabobo di Teluk Kao. Hal ini sesuai dengan
al., (1996) bahwa muara sungai merupakan wilayah pertemuan
r dari darat dan laut, yang masih mendapat pengaruh sifat – sifat
pasang surut dan intrusi air laut. Pada bagian hulu dari muara
s penambangan emas PT. Nusa Halmahera Permai (NHM) serta

aktivitas masyarakat (pemukiman) dan pelabuhan yang dapat menjadi penyumbang bahan organik ke muara sungai. Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Najamuddin (2017) bahwa distribusi kandungan bahan organik pada musim barat cenderung stabil di wilayah sungai, estuaria, dan pantai karena sumber utama bahan organik di dalam perairan berasal dari karbon organik bentuk partikulat yang berasal dari daratan hasil erosi lahan atas terbawa oleh sungai.

2.7.7 Potensial redoks (Eh)

Potensial redoks (Eh) merupakan sifat elektrokimia yang dapat dipakai sebagai indikasi dalam mengukur derajat an-aerobik tanah dan tingkat transformasi biogeokimia yang terjadi (Najamuddin et al., 2020). Nilai potensial redoks telah dikenal sebagai potensial redoks sedimen juga dapat dipakai untuk menilai adanya oksigen di dalam sedimen (Golterman 1990; Libes 1992; Giere 1993 dan Barnes & Hughes, 2004). Selain itu indikator suatu perairan mengalami akumulasi nutrient di mana menurut Fonselius (1983) mengkategorikan suatu perairan telah mengalami akumulasi nutrient dalam jumlah yang banyak ketika nilai potensial redoks sedimen berkisar antara -100 hingga -150 mv. Nilai ditemukan keterkaitan perubahan potensial redoks pada spesiasi beberapa logam seperti Pb dan Cd (Guo et al., 1997).

Potensial redoks merupakan suatu besaran potensial listrik yang dapat menunjukkan proses reduksi atau oksidasi. Potensial redoks (Eh) sedimen adalah besarnya nilai relatif dari proses oksidasi dan reduksi di lingkungan dasar perairan atau tambak. Sejalan dengan pernyataan Rhoads (1974) bahwa potensial redoks adalah besarnya aktivitas elektron di dalam proses oksidasi reduksi yang dinyatakan dalam milivolt (Mv). Odum (1998) mengelompokkan sedimen dasar suatu perairan menjadi 3 zona yang didasarkan pada nilai potensial redoks. Ketiga zona tersebut adalah zona oksidasi dengan nilai $Eh > 200$ Mv, zona transisi dengan nilai Eh antara 0-200 Mv dan zona reduksi dengan nilai $Eh < 0$.

Hasil pengukuran Eh yang diperoleh di lokasi penelitian pada empat stasiun pada dua musim berbeda yaitu musim barat berkisar antara -55,08-136,00 mV dan pada musim timur berada pada kisaran -74,41-148,67 mV. Nilai potensial redoks sedimen pada musim barat dan musim timur termasuk kategori zona reduksi dan transisi atau berada pada kondisi aerob/anaerob.

Potensi redoks diyakini memiliki efek pada diagenesis bahan sedimen, termasuk konversi bahan organik menjadi minyak bumi. Nilai positif potensial redoks umumnya menggambarkan karakteristik sedimen yang teroksigenasi dengan baik, meliputi sedimen kasar, atau sedimen miskin bahan organik. Nilai potensial redoks yang negatif merupakan ciri khas dari sedimen yang kaya bahan organik dan yang sebagian besar terdiri dari sedimen halus (ZoBell, 1946).



Tekstur sedimen dan kandungan bahan organik juga sangat mempengaruhi nilai erpasir yang biasanya berwarna kekuningan mempunyai nilai Eh ada sedimen lunak yang mengandung bahan organik yang tinggi yang negatif. Hal ini sesuai dengan pernyataan Beiras et al. (2003) ng mengatakan bahwa potensial redoks sedimen dapat digunakan fologi, sifat umum, dan proses kimia dalam sedimen terkonsolidasi. kini memiliki efek pada diagenesis bahan sedimen, termasuk nik menjadi minyak bumi. Nilai positif potensial redoks umumnya

menggambarkan karakteristik sedimen yang teroksigenasi dengan baik, meliputi sedimen kasar, atau sedimen miskin bahan organik. Nilai potensial redoks yang negatif merupakan ciri khas dari sedimen yang kaya bahan organik dan yang Sebagian besar terdiri dari sedimen halus.

Musim barat pada Stasiun 1, Stasiun 2 nilai potensial redoks termasuk kategori zona transisi, untuk stasiun 3 nilai potensial redoksnya hampir mendekati zona reduksi sedangkan untuk stasiun 4 termasuk kategori zona reduksi. Sedangkan pada musim timur Stasiun 1 termasuk kedalam zona reduksi, untuk stasiun 2 dan stasiun 3 termasuk zona transisi sedangkan pada stasiun 4 termasuk kategori zona reduksi.

Hal ini sejalan dengan tekstur sedimen pada stasiun 1, stasiun 2 dan 3 ini didominasi oleh pasir, sehingga menyebabkan nilai potensial redoks termasuk kategori zona transisi (oksidasi), walaupun berdasarkan pantauan lapangan bahwa stasiun 1 dijadikan tempat pembuangan limbah ikan, tempat berlabuhnya kapal fery dan speedboat yang memungkinkan terjadinya buangan limbah organik. Hal ini juga sejalan dengan tingginya nilai kelarutan oksigen (DO) yang tinggi serta nilai yang membuktikan bahwa aktifitas bakteri untuk mendekomposisi bahan organik sangat kecil. Stasiun 1, stasiun 2 dan stasiun 3 berada dekat garis pantai menyebabkan terjadinya sirkulasi air secara terus menerus dan mempunyai nilai kandungan oksigennya meningkat, dan pada akhirnya meningkatkan nilai potensial redoks (Najamuddin, 2020).

Pada stasiun 4, nilai potensial redoks termasuk kedalam zona reduksi disebabkan daerah ini khususnya pada Stasiun 4 adalah muara yang jauh dari garis pantai dan mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi yang menyebabkan terjadinya proses dekomposisi bahan organik oleh bakteri yang pada akhirnya menyebabkan nilai kelarutan oksigen menjadi rendah.

2.7.8 Tekstur sedimen

Sedimen adalah kerak bumi yang ditransportasikan melalui proses hidrologi dari satu tempat ke tempat lainnya, baik secara vertikal maupun horizontal. Sedimen terdiri atas dua kelompok yaitu *sediment of inlet* dan *pyroclastic sediment*. *Sediment of inlets* adalah sedimen yang berasal dari limpasan air sungai, jenis sedimen ini banyak mempengaruhi proses pembentukan pinggir pantai di sekitar muara sungai. *Pyroclastic sediment* berasal dari daratan (angin atau drainase) atau penguraian bahan organik. Kebanyakan estuaria didominasi oleh substrat berlumpur, yang seringkali sangat lunak. Substrat ini berasal dari sedimen yang dibawa ke dalam estuaria baik oleh air laut maupun air tawar (Perillo, 1995).

Pengendapan partikel bergantung pada arus dan ukuran partikel. Partikel yang lebih besar mengendap lebih cepat daripada partikel yang lebih kecil dan arus yang kuat mempertahankan partikel dalam suspensi lebih lama dari arus yang lemah. Oleh karena itu substrat pada tempat yang arusnya kuat cenderung bersubstrat kasar dan berukuran besar yang akan mengendap. Jadi, baik air tawar maupun air laut mempunyai kecenderungan pertama kali melepas sedimen yang terkandung di dalamnya pada mulut estuaria, sedangkan air tawar akan melepasnya di muara atau bahkan pada sungai itu sendiri.

Persentase tekstur pasir pada musim barat disebabkan karena laju arus pada musim barat lebih kuat oleh bangkitan kecepatan angin yang lebih



kuat pada musim barat. Sebaliknya, komposisi fraksi lebih halus (*clay* dan *silt*) meningkat pada musim timur karena lemahnya pergerakan aliran massa air sehingga partikel lebih halus dapat terdeposisi (mengendap) ke dasar perairan. Pola sebaran fraksi pasir (*sand*) pada musim barat dan timur didapatkan bahwa persentase tertinggi terdapat di Stasiun 1, Stasiun 2 dan Stasiun 3, sedangkan persentase terendah terdapat di Stasiun 4.

Adapun pola sebaran tekstur liat pada musim barat dan timur mempunyai pola yang berbeda. Pada musim barat, persentase tekstur liat yang tertinggi didapatkan pada Stasiun 4, dan Stasiun 2, sedang persentase terendah diperoleh di Stasiun 1, dan Stasiun 3. Pada musim timur, persentase terendah terdapat pada Stasiun 3 dan Tertinggi terdapat pada Stasiun 4, Stasiun 2 dan Stasiun 1.

Tingginya persentase tekstur pasir pada Stasiun 3 disebabkan karena stasiun 3 ini adalah perairan yang terbuka serta pengaruh arus didaerah pantai, dimana partikel berukuran lebih kecil akan terbawa kembali oleh arus ke daerah laut sedangkan partikel berukuran lebih besar akan terendapkan didaerah pantai (Situmorang, 2010). Hal ini juga sesuai pendapat Najamuddin et al. (2020) bahwa tekstur pasir (*sand*) yang dominan pada suatu lokasi mengindikasikan bahwa pergerakan massa air di lokasi cukup kuat sehingga yang mengalami deposisi ke dasar perairan adalah tekstur yang lebih besar berupa pasir. Selanjutnya menurut Najamuddin (2017) bahwa persentase tekstur pasir pada musim barat mengalami peningkatan karena laju aliran massa air pada musim barat lebih kuat oleh bangkitan kecepatan angin yang lebih kuat pada musim barat.

Persentase tekstur liat yang tertinggi terdapat pada Stasiun 4. Stasiun 4 ini adalah merupakan Muara Sungai Tabobo dan Muara Sungai Taolas di Teluk Kao. Tingginya nilai tekstur liat ini disebabkan karena perairan bagian dalam teluk adalah perairan yang relative tenang, kecepatan arus yang relatif lemah, sehingga partikel halus pada sedimen menjadi dominan terdeposisi. Hal ini sesuai dengan penelitian Pamungkas dan Farhaby (2018) bahwa perairan Teluk Kelabat bagian dalam, memiliki kecepatan arus yang relatif lemah bila dibandingkan Teluk Kelabat bagian luar.

Keberadaan logam dalam sedimen sangat erat hubungan dengan ukuran butiran sedimen. Umumnya sedimen yang mempunyai ukuran sedimen yang lebih halus dan mempunyai banyak kandungan organik mengandung konsentrasi logam yang lebih besar daripada sedimen yang mempunyai tipe ukuran butiran sedimen berukuran besar (Yang et al., 2007). Lumpur mempunyai ukuran sedimen yang halus sehingga mempunyai kemampuan yang baik dalam mengikat logam dalam sedimen. Persentase kandungan lumpur yang tinggi cenderung mengandung logam yang tinggi.

Fraksi sangat halus (*clay* dan *silt*) lebih memiliki kemampuan berikatan dengan logam karena semakin halus tekstur maka luas permukaannya semakin besar sehingga kapasitas untuk berikatan dengan logam juga makin besar. Selain itu, fraksi sangat



kemampuan berikatan dengan bahan organik sehingga logam akan membentuk ikatan kompleks dalam sedimen. Sebagaimana akan bahwa konsentrasi logam dalam sedimen umumnya lebih berupa liat, lumpur, pasir lumpur, dan campuran ketiganya berupa pasir murni. Hal ini disebabkan oleh adanya gaya tarik sedimen yang lebih kuat pada sedimen yang lebih halus

2.7.8 Karakteristik parameter fisika kimia perairan

Pada musim barat terdapat korelasi yang signifikan dan bernilai positif antara parameter salinitas dan DO air hal ini ditandai dengan tanda bintang. Yang menunjukkan korelasi pada signifikasi 1% atau 0.01. Korelasi 1% menunjukkan korelasi positif sempurna antara dua parameter. Artinya, kedua parameter selalu bergerak bersamaan dan kemungkinan besar sangat terkait. Karena pada musim barat terjadi proses penambahan massa air dalam jumlah yang besar sehingga menyebabkan nilai salinitas menjadi rendah dan DO mengalami peningkatan pada lapisan permukaan. Hal ini disebabkan pada lapisan permukaan umumnya kadar oksigen lebih tinggi karena adanya proses difusi dengan udara bebas serta adanya proses fotosintesis. Rendahnya nilai DO dan salinitas menyebabkan kandungan logam juga tinggi.

Pada musim timur, terbentuk korelasi yang signifikan dan bernilai positif antara salinitas dengan pH sedimen. Yang artinya ketika terjadi kenaikan salinitas maka pH sedimen juga meningkat, begitu pula sebaliknya. Rendahnya salinitas, Eh sedimen dan pH sedimen suatu perairan menyebabkan tingginya adsorpsi logam.

2.8 Kesimpulan

Parameter lingkungan perairan di lokasi penelitian mengalami variasi musiman yaitu suhu perairan, salinitas, pH air, pH sedimen, bahan organik terlarut (BOT), potensial redoks (Eh) dan tekstur sedimen. Sedangkan perbedaan musim tidak mempunyai pengaruh signifikan terhadap variasi kandungan oksigen terlarut. Suhu, salinitas, pH sedimen, BOT, dan potensial redoks (Eh) mempunyai kisaran nilai yang lebih tinggi pada musim timur daripada musim barat dan mempengaruhi kandungan logam di perairan.

2.9 Daftar Pustaka

Akimbekov, N.S., Digel, I., Tastambak, K.T., Altynbay, N.P. 2021. Low-Rank Coal as a source of Humic Substances for Soil Amendment and Fertility Management. <https://doi.org/10.3390/agriculture 11121261>

APHA, AWWA, WEF] American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 2005. Part 5000. Agregat organik konstituen Digel, I., Tastambak, K.T., ts. Organic carbon. In Standard methods for the examination of water and waste water. 21st Edition. Washington DC (US): American Public Health Association. 5.19-5.25pp.

Arisandy, K.R., E.Y. Herawati., dan E. Suprayitno. 2012. Akumulasi logam berat timbal (Pb) dan gambaran histologi pada jaringan *Avicennia marina* (forsk.) Vierh di Perairan Pantai Jawa Timur. J. Penelitian Perikanan. 1(1): 15-25.

Bibby RL, Webster-Brown JG. 2006. Trace metal adsorption onto urban stream suspended particulate matter (Auckland region, New Zealand). App , 1135–1151.



arajah, S., Barrow, N. I., Posner, A. M and Quirk, J. P. 1980. The Adsorption of Phosphate, Citrate and Selenite on a Variable-Surface. Aust. J. Soil Res., 1980, 18. 49-60.

- Breitburg, D.; Levin, LA; Oschlies, A.; Gregoire, M.; Chavez, FP; Conley, DJ; Garçon, V.; Gilbert, D.; Gutierrez, D.; Isensee, K.; . Menurunnya oksigen di lautan global dan perairan pesisir. *Sains* **2018** , 359 , 46.
- Bubb J. M., and J. N. Lester. 1991. The impact of heavy metals on lowland rivers and the implications for man and the environment. *Sci. Total Environ.* 100 Spec No: 207-233.
- Caplat, C., Texier, H., Barillier, D dan Lelievre, C. 2005. Heavy metals mobility in Harbour Contaminated Sediments. The case of Port-en-Bessin. *Marine Pollution Bulletin* 50 (2005) 504-511.
- Dahuri, Rokhmin. 2004. *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. Jakarta: PT. Pradnya Paramitra.
- Daud A.P. , Rudi. H., Ahmad, S. 2020. Analisis Efisiensi Bahan Bakar Batubara Tipe Low Rank Coal Pada Boiler Stoker PLTU Tidore Unit 2, 24 *Dinamika Jurnal Teknik Mesin Unkhair*, Volume 5, Nomor 2. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Khairun.
- Diaz, RJ; Rosenberg, R. Penyebaran zona mati dan konsekuensinya bagi ekosistem laut. *Sains* 2008 , 321 , 926–929.
- Dojildo JR, Best GA. 1992. *Chemistry of Water and Water Pollution*. New York (US): Ellis Horwood Limited.
- Effendi H. 2003. *Telaah Kualitas Air. Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta (ID): Kanisius. 258 hlm.
- Eshmat ME, Mahasri G & Rahardja BS. 2014. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) di Perairan Ngemboh Kabupaten Gresik Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 6, (1), 101-108.
- Fardiaz S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta (ID): Kanisius.
- Farida, M. Winiarti. 2021. *Permodelan sebaran Tumpahan Minyak dan Tingkat Sensitivitas Lingkungan Pesisir Ternate, Maluku Utara*. Thesis, Universitas Brawijaya.
- Finkelman, R.B., Palmer, C.A., Wang. P., 2019. The importance of minerals in coal as the hosts of chemical elements. *Int. J. Coal Geol.* 212, 103251.
- Firman. F., Rizhan, M., dan Sahidi, A.A. 2020. Analisis Kandungan Logam Berat Abu Batubara PLTU Bangko Barat Kabupaten Muara Enim Sumatera Selatan. 10-16 halaman. <http://e-journal unkhair.ac.id/Indeks.php/josae/ISSN 2621-3435>.



. Determination of hydrogen sulphide. In: Grasshoff K, Ehrhardt M, eds) *Methods of seawater analysis*, 2nd edn. Verlag Chemie, Berlin,

2012. Concentration and fractionation of trace metals in surface intertidal Bohai Bay, China. *Mar Pollut Bull* 64, 1529–1536.

- Groot, C.J., Golterman, H.I. 1990. Sequential Fractionation of Sediment Phosphate. *Hydrobiologia* 192 : 143-148.
- Grantham, BA; Chan, F.; Nielsen, KJ; Rubah, DS; Barth, JA; Huyer, A.; Lubchenco, J.; Menge, BA. Hipoksia dekat pantai yang disebabkan oleh upwelling menandakan perubahan ekosistem dan oseanografi di timur laut Pasifik. *Alam* **2004** , 429 , 749–754.
- Guo, T., R.D. DeLaune, and W.H. Patrick, Jr. 1997a. The influence of sediment redox chemistry on chemically active forms of arsenic, cadmium, chromium and zinc in estuarine sediment. *Environment International*. Vol. 23. No. 3 : 305-316.
- Hickmah. N., Lilik, M., Sri Yulaian, W., Denny N.S., dan Anindya, W. 2021. Kajian Stok Karbon Organik Dalam sedimen Di Area Vegetasi Mangrove Karimunjawa. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*. Vol 03 No.04 : 88-95.
- Hidayat, N.V., Asrul Sahri, S., Lilik, K.S., Gayuh, L.P., Hartoni, I Putu Nugraha., dan Agung, D.S. 2014. Pendugaan Tingkat Kontaminasi Logam Berat Pb, Cd dan Cr pada Air dan Sedimen di Perairan Segara Anakan, Cilacap. *Jurnal Omni-Akuatika* Vol. XIII. No. 18 Mei 2014: 30-39.
- Hatje V, Payne TE, Hill DM, McOrist G, Birch GF, Szymczak R. 2003. Kinetics of trace element uptake and release by particles in estuarine waters: Effects of pH, Salinity, and particle loading. *Environ Int* 29, 619–629.
- Hidayat, N.V., Asrul Sahri, S., Lilik, K.S., Gayuh, L.P., Hartoni, I Putu Nugraha., dan Agung, D.S. 2014. Pendugaan Tingkat Kontaminasi Logam Berat Pb, Cd dan Cr pada Air dan Sedimen di Perairan Segara Anakan, Cilacap. *Jurnal Omni-Akuatika* Vol. XIII. No. 18 Mei 2014: 30-39.
- Ippen, A.T., 1966. *Estuary and Coastline Hydrodynamics*. Mc. Graw-Hill Book Company, Inc.: 744 pp.
- Jerman, C.; Brix, H.; Ito, T.; Frenzel, H.; Thompson, L. Variabilitas hipoksia laut yang disebabkan oleh iklim. *Sains* 2011 , 333 , 336.
- Kress, N., Herut, B dan Galil, B.S. 2004. Sewage sludge impact on sediment quality and benthic assemblages off the Mediterranean Coast of Israel-a long-term study. *Marine Environmental Research*. 57 (2004) 213-233. Doi : 10.1016/S0141-1136(03)00081-3.
- Kushartono. A. W. 2009. Beberapa Aspek Bio-Fisik Kimia Tanah di Daerah Mangrove Desa Pasar Banggi Kabupaten Rembang. *Journal Ilmu Kelautan*. 14(2): 76 – 83.
- Lapik, C. 2017. Biosorpsi Logam Berat Cr (VI) dengan Menggunakan Biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. Tugas Akhir Departemen Lingkungan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



It, J.A. Bradley, E.R. Estes, A. Hoarfrost, S.Q. Lang, K.G. Lloyd, N. /D. Orsi, S.R. Shah Walter, A.D. Steen, R. Zhao. 2020. The fate of in marine sediments - New insights from recent data and analysis. /10.1016/j.earscirev.2020.103146.

Lestari dan Budiyanto, 2013. Konsentrasi Hg, Cd, Cr, Pb dan Zn dalam Sedimen di Perairan Gresik. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis Volume 5. No. 1. Hlm 182-191.

Libes S. 2009. Introduction to Marine Biogeochemistry. California (US): Academic Press. 909p.

Liu Z, Pan S, Sun Z, Ma R, Chen L, Wang Y, Wang S. 2015. Heavy metal spatial variability and historical changes in the Yangtze River estuary and North Jiangsu tidal flat. Mar Pollut Bull 98, 115–129.

Liu., G., Weihong, H., and Shugun, C. 2020. Seasonal Variation of Dissolved Oxygen in the Southeast of the Pearl River Estuary . Journals Water Volume 12. Issue 9. <https://doi.org/10.3390/w12092475>.

Mahasani, I. G. A. I., Widasti, N dan I. W. G. A. 2015. Estimasi Presentase Karbon Organik di Hutan Mangrove bekas Tambak, Perancak, Jembrana Bali. Jurnal of Marine and Aquatic Sciences I. 14-18.

Maslukah, 2013. Hubungan antara Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dengan Bahan Organik dan Ukuran Butir dalam sedimen di Estuari Banjir Kanal Barat, Semarang. Buletin Oceanografi Marina, Vol 2, pp. 55-62.

Millenia, Y, W., Helmi, M., dan Maslukah, L. 2022. Analisis Mekanisme Pengaruh IOD, ENSO dan Monsun terhadap Suhu Permukaan Laut dan Curah Hujan di Perairan Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat. Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro. Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE) [November] [2022] Vol 04 No 04 : 87-98 ISSN:2714-8726.

Moore JW, Ramamoorthy S. 1984. Heavy Metal in Neutral Water. New York (US): Springer Verlag.

Najamuddin. 2017. Variasi Musiman Parameter Fisika Kimia Di Sekitar Perairan Estuaria Jeneberang, Sulawesi Selatan. Prosiding Seminar Nasional KSP2K II, 1 (2) : 1-15.

Nonjti A. 1987. Laut Nusantara. Jakarta (ID): Djambatan.

Nurhamiddin dan Ibrahim. 2018. Sudi pencemaran logam berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada sedimen laut Di Pelabuhan Bastiong Kota Ternate Provinsi Maluku Utara.

Odum EP. 1998. Dasar-dasar Ekologi. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press.

Officer C.B. 1976. Physical Oseanography of Estuaries and Associated Coastal Waters. and Sons. New York: 465 pp.



Optimized using
trial version
www.balesio.com

..S dan Muhammad, C.U. 2017. Karakteristik Sedimen Perairan Pak Udang intensif Saat Musim Hujan Di Teluk Punduk Kabupaten Provinsi Lampung. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, Vol.9 1-234.

aran dan Toksikologi Logam Berat. Penerbit Rineka Cipta.

- Pamungkas, A. & Farhaby, A.M., 2018. Hydrooceanography modelling characteristic (tidal, waves, and currents) in Kelabat Bay, Bangka Belitung. Int. Conferen. Maritime and Archipelago (IcoMA 2018), Adv. Eng. Res., Volume 167, Atlantis Press, doi: 10.2991/icoma-18.20 19.38
- Patty, S.I., Marenda Pandu R., Husen Rifai dan Nebuchadnezzar Akbar. 2019. Kajian Kualitas Air dan Indeks Pencemaran Perairan Laut di Teluk Manado ditinjau dari Parameter Fisika-Kimia Air Laut. Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan, 2(2); 1-13 Desember 2019. E-ISSN 2620-570X. P-ISSN 2656-7687.
- Patty, S.I., Rikardo, H., Ferdimon, K. 2020. Variasi Musiman Suhu, Salinitas dan Kekerusuhan Air Laut di Perairan Selat Lembeh, Sulawesi Utara. Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Jurnal Ilmiah Platax Vol. 8:(1), Januari-Juni 2020.
- Peng, W., Li, X., Xiao, S., & Fan, W. 2018. Review of remediation technologies for sediments contaminated by heavy metals. Journal of Soils and Sediments.18(4), 1701–1719. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1921-7>.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Penyelenggaraan Perlindungan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Perillo GME. 1995. Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Amsterdam (NL): Elsevier.
- Pond S, Pickard GL. 1983. Introductory Dynamical Oceanography. Second edition. New York (US): Pergamon Press. 329p.
- Puspasari, D. A., I.E. Suprihatin., dan I.G. A. Kunti Sri Panca Dewi. 2014. Spesiasi dan bioavailabilitas logam Cu dan Zn dalam perairan dan sedimen Muara Sungai Badung pada jalur Taman Hutan Raya Ngurah Rai Denpasar Bali, Jurnal Kimia. Vol. 8(2),pp. 153-158.
- Rainbow, P.S. 2002. Trace Metal Concentration in Aquatic Invertebrates : Why and So What?. Enviromental Polution, 120 : 497-507.
- Rhoads DC. 1974. Organism-sediment relations. In Barnes H. (ed). Oceanography and Marine Biology. London (GB): George Allen and Unwin Ltd.
- Riba, I., Garcia-Luquea., J. Blasco and T.A. Delvals., 2003. Bioavailability of heavy metals bound to estuarine sediments as a function of pH and salinity values. ISSN : 0954 – 2299 (Print) 2047 – 6523 (Online) Journal homepage : www.Tandfonline.com/journals/tcsb20. Doi : 10.3184/095422903782775163.
- Riley JP, Chester R. 1971. Introduction to Marine Chemistry. Liverpool (GB): Academic Press.



rmoso MLL. 2006. Geochemical distribution of selected heavy am sediment affected by tannery activities. Water Air and Soil Pollut l.

a Lingkungan. Bogor ID): Pusat Antar Ilmu Hayat, Institut Pertanian

- Salmin. 2000. Kadar oksigen terlarut di perairan sungai Dadap, Goba, Muara Karang dan Teluk Banten. Di dalam : Djoko P. Praseno, Ricky Rositasari dan S. Hadi Riyono: Foraminifera sebagai Bioindikator Pencemaran. Hasil Studi di Perairan Estuarian Sungai Dadap, Tangerang. Jakarta (ID): Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi LIPI.
- Sanusi HS. 2006. Kimia Laut. Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan. Bogor (ID): Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Institut Pertanian Bogor. 188hlm.
- Seick, H., and V.E. Forbes. 2004. The Relative Importance of Water and Diet For Uptake and Subcellular Distribution of Cadmium in The Deposit Feeding Polychaeta, *Capitella* sp. I. Marine Environmental Research 57: 261-279.
- Simanjuntak, M. 2007. Variasi Musiman Oksigen Terlarut di Perairan Teluk Banten. Jurnal Ilmu Kelautan UNDIP Vol 12(3) : 125-132. ISSN 0853-7291.
- Simbolon Domu, Silvanus Maxel Simange, Sri Yuliana Wulandari. 2010. Kandungan Merkuri dan Sianida pada Ikan yang Tertangkap dari Teluk Kao, Halmahera Utara. Jurnal Ilmu Kelautan Vol. 15(3)126-134. ISSN 0853-7291.
- Situmorang S. P., H.S. Sanusi., dan Zainal Arifin. 2010. Geokimia logam berat (Pb, Cr dan Cu) dalam sedimen dan potensi ketersediannya pada Biota Bentik di Perairan Delta Berau, Kalimantan Timur. Jurnal Ilmu Kelautan Vol. 2. ISSN 0853-7291.
- Teixeira EC, Rodrigues MLK, Alves MFC, Barbosa JR. 2003. Study of geochemical distribution of heavy metals in sediments in areas impacted by coal mining. In: Locat J, Galvez-Cloutier R, Chaney RC, Demars K. (eds.). Contaminated sediments: Characterization, Evaluation, Mitigation/Restoration, and Management Strategy Performance. West Conshohocken (US): ASTM International. 72–86pp.
- [UNEP] United Nations Environment Programme. 1995. Manual for the Geochemical Analyses of Marine Sediments and Suspended Particulate Matter. Reference Methods for Marine Pollution Studies No. 63. New York (US): Regional Seas.
- Welch EB. 1980. Ecological Effect of Waste Water. Cambridge (GB): Cambridge University Press.
- Werorilangi, S., A. Noor., M.F. Samawi, dan F. Ahmad., 2019. Sebaran spasial Logam Pb, Cd, Cu, Zn dan fraksi geokimia di sedimen Perairan Pantai Kota Makassar. Jurnal Ilmu Kelautan Spermonde.
- Wyrtki, K., 1961. Physical Oseanography of the South East Asian Waters. Naga Report, Vol. 2: 196 pp.



n L., dan Liu Z. 2007. Magnetic signature of heavy metals pollution : case study from the East Lake in Wuhan, China. Journal of al Geology (2007) 52:1639– 1650

Studies on redox potential of marine sediments. <http://pages.com/data/bulletns/194448/data/pg/0030/0004/0450/0477.ht>

m?doi=10.1306%2F3D93380816B111D78645000102C1865D#purchaseoption
s. [Retrievednon 23 March 2017].



Optimized using
trial version
www.balesio.com