

## Hubungan Sebaran Silikat dan Total Bahan Organik di Muara Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang

Muhammad Farrel Satyatma Wijayatno\*, Muslim, Warsito Atmodjo

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia  
Email: farrelwijayatno@gmail.com

### Abstrak

Muara sungai Banjir Kanal Barat mengakumulasi silikat dan bahan organik yang berasal dari dataran tinggi dan buangan aktivitas antropogenik. Silikat dan bahan organik berkaitan dengan organisme primer perairan, khususnya diatom. Diatom membutuhkan silikat dan menghasilkan pengayaan bahan organik. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui hubungan silikat dan bahan organik beserta persebarannya. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan analisis statistik deskriptif sedangkan penentuan lokasi menggunakan *purposive sampling*. Silikat dianalisis menggunakan metode *molybdosilicate*, bahan organik total air menggunakan metode uji permanganat secara titrimetri (SNI 06-6989.22-2004), bahan organik total sedimen menggunakan metode *Loss on Ignition*. Hubungan menggunakan korelasi *Pearson* dan nilai signifikansi. Hasil menunjukkan konsentrasi silikat lebih tinggi di permukaan (6,189  $\mu\text{M}$ ) daripada bagian dasar (4,745  $\mu\text{M}$ ) serta sebarannya terpusat di sumber masukan perairan. Bahan organik total air di permukaan (30,393 mg/L) menyebar dari sumber masukan muara menuju ke arah barat muara mengikuti pergerakan arus. Bahan organik total air di dasar perairan (31,744 mg/L) menyebar secara acak mengikuti ukuran butir sedimennya. Bahan organik total di sedimen (16,687 %) menyebar bervariasi secara acak dikarenakan pengaruh kecepatan arus dan persebaran ukuran butir sedimen. Hubungan antara bahan organik dengan silikat perairan terjadi di bagian permukaan perairan ( $r = 0,632$ ;  $p = 0,037$ ) sedangkan di dasar perairan tidak terjadi hubungan ( $r = 0,395$ ;  $p = 0,229$ ).

**Kata kunci:** Silikat, Bahan Organik Total, Muara, Sedimen, Diatom

### Abstract

#### *The Relationship between Silicate Distribution and Total Organic Material at the West Flood Canal River Estuary, Semarang*

The mouth of the West Flood Canal River accumulates silicates, organic materials originating from the highlands, and waste from anthropogenic activities. Silicates and organic materials are associated with primary aquatic organisms, especially diatoms. Diatoms require silicates and result in the enrichment of organic matter. The aim of this research is to determine the relationship between silicates and organic materials and their distribution. This research uses quantitative methods with descriptive statistical analysis, while determining the location uses *purposive sampling*. Silicate was analysed using the *molybdosilicate* method, total water organic matter using the permanganate titrimetric test method (SNI 06-6989.22-2004), and total sediment organic matter using the *Loss on Ignition* method. Relationships using *Pearson* correlation and significance values. The results show that the silicate concentration is higher at the surface (6.189  $\mu\text{M}$ ) than at the bottom (4.745  $\mu\text{M}$ ), and its distribution is concentrated at the water input source. The total organic matter of surface water (30.393 mg/L) spreads from the estuary input source towards the west of the estuary following the movement of currents. The total organic matter of the water at the bottom of the water (31.744 mg/L) is distributed randomly according to the grain size of the sediment. The total organic matter in the sediment (16.687%) varies randomly due to the influence of current speed and the distribution of sediment grain sizes. The relationship between organic matter and water silicate occurs at the surface of the water ( $r = 0.632$ ;  $p = 0.037$ ), while at the bottom of the water there is no relationship ( $r = 0.395$ ;  $p = 0.229$ ).

**Keywords:** Silicates, Total Organic Matter, Estuaries, Sediments, Diatoms

### PENDAHULUAN

Silikat memiliki peran yang penting dalam keberlangsungan di ekosistem perairan (Suratman *et al.*, 2010; Gobler *et al.*, 2006). Organisme primer perairan, khususnya fitoplankton jenis diatom, memerlukan silikat sebagai nutrisi untuk membentuk cangkang (*frustules*) dan dinding sel (Javaheri *et al.*, 2015; Marlian, 2016). Silikat bersifat esensial bagi diatom (Umiatun *et al.*, 2017). Keberadaan diatom berkaitan dengan produktivitas dan kualitas perairan (Wu & Chou, 2003; Li *et al.*, 2014; Tang *et al.*, 2014).

Bahan organik merupakan sekumpulan senyawa organik kompleks dan dapat memengaruhi suatu kualitas perairan (Liu *et al.*, 2020). Kelimpahan bahan organik di perairan berasal dari adanya suplai masukan yang mengakumulasi berbagai kegiatan pengayaan bahan organik (Yuspita *et al.*, 2018; Gurning *et al.*, 2019). Aktivitas biogenik di perairan seperti *blooming* organisme primer turut menyumbang masukan bahan organik secara langsung di dalam perairan (Fu *et al.*, 2015).

Aliran sungai Banjir Kanal Barat (BKB) berhulu di Gunung Ungaran yang kemudian membelah Kota Semarang dan bermuara di perairan Laut Jawa (Balai PSDA Jawa Tengah, 2018). Kehadiran silikat dan bahan organik di muara sungai adalah hasil akumulasi proses pelapukan batuan dari dataran tinggi serta buangan aktivitas antropogenik di sepanjang aliran sungai (Stallard, 1998; Jeniarti *et al.*, 2021). Kota Semarang dipenuhi dengan keberagaman aktivitas antropogenik seperti domestik, industri, wisata, pertanian, dan transportasi yang mana menghasilkan limbah yang dibuang ke dalam badan perairan sungai (Meynita *et al.*, 2016; Alfat'hani *et al.*, 2020). Muara Sungai Banjir Kanal Barat relatif rentan terhadap perubahan lingkungan serta telah terjadi masukan yang melebihi beban kapasitas asimilasi sungai (Wibowo, 2009; Haeruddin *et al.*, 2019). Akumulasi silikat dan bahan organik berdampak luas pada berbagai aspek di perairan, seperti produktivitas perairan, biodiversitas, proses geokimia, dan kualitas perairan (Li *et al.*, 2014; LaRowe *et al.*, 2020; Xenopoulos *et al.*, 2021).

Penelitian di muara Sungai Porong dan Wonokromo, Indonesia oleh Jennerjahn *et al.* (2004), memberikan informasi bahwasanya keberadaan silikat dan bahan organik di muara sungai berasal aktivitas manusia di daratan serta aliran hulu sungai yang berada di dataran tinggi. Penelitian Sospreda *et al.* (2018) di Teluk Valencia, Spanyol menyebutkan bahwa sumber silikat di perairan berasal dari pelapukan tanah sedangkan penelitian Gobler *et al.* (2006) di muara Sungai Timur Long Sound, Amerika Serikat menjelaskan bahwa aktivitas antropogenik di daratan menentukan jumlah kandungan silikat di perairan. Penelitian di Laut Kuning, China oleh Li *et al.* (2014), menjelaskan bahwa kegiatan pertanian turut menyumbang keberadaan silikat ke dalam perairan. Penelitian yang dilakukan oleh Yoswaty *et al.* (2021) di Pulau Bengkalis, Indonesia menjelaskan bahwa keberadaan sungai menentukan tingginya kandungan bahan organik di air dan sedimen daripada perairan yang tidak ada masukan aliran sungai. Penelitian Haryono *et al.* (2021) di Teluk Penyu, Indonesia, faktor ukuran butir sedimen serta keberadaan vegetasi memengaruhi besarnya kandungan bahan organik sedimen. Penelitian di muara Sungai Banjir Kanal Barat sudah dilakukan sebelumnya oleh Maslukah *et al.* (2017) dan Alfathani *et al.* (2020), bahwasanya tingginya bahan organik di muara bersumber dari aktivitas antropogenik yang masuk melalui aliran sungai tetapi tidak menganalisis mengenai silikat dan hubungannya terhadap bahan organik. Maka dilakukan suatu penelitian untuk mencari hubungan silikat dengan *total organic matter* (TOM) air beserta nilai konsentrasi dan persebarannya masing-masing di muara sungai Banjir Kanal Barat, Semarang yang mana sejauh ini belum pernah dilaksanakan sebelumnya.

Penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai silikat dan bahan organik total di muara Sungai Banjir Kanal Barat beserta persebarannya bagi kalangan masyarakat umum dan akademisi. Hasil yang didapatkan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi pemangku kebijakan dalam pemanfaatan dan pengelolaan keberlangsungan ekosistem di muara Sungai Banjir Kanal Barat.

## MATERI DAN METODE

### Materi

Data primer di dalam penelitian ini meliputi silikat, bahan organik total air, bahan organik total sedimen, dan nilai hubungan bahan organik total air dengan silikat. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ukuran butir sedimen, karbon dioksida air, kualitas perairan (kecerahan, salinitas, oksigen terlarut, suhu, dan pH), bathimetri, dan pasang surut.

### Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah kuantitatif dengan analisis statistik deskriptif. Metode ini merupakan menggambarkan secara kuantitas sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang menggeneralisasi (Sugiyono, 2013). Penentuan lokasi pengambilan sampel air dan sedimen menggunakan metode *purposive sampling*, dimana menetapkan identitas spesial berdasarkan kondisi lapangan dengan tujuan tertentu (Sugiyono, 2013). Pengambilan sampel lapangan dilakukan pada 11 titik stasiun. Stasiun dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu daerah muara yang meliputi badan sungai serta muara yang condong ke arah barat (stasiun 1, stasiun 2, stasiun 3, stasiun 4), daerah timur hingga utara muara (stasiun 6, stasiun 5, stasiun 7), dan

daerah paling jauh dari muara dengan mencakup arah barat dan timur (stasiun 8, stasiun 9, stasiun 10, stasiun 11) yang disajikan dalam Gambar 1.

### Metode Pengumpulan Sampel Air

Sampel air laut digunakan untuk menganalisis silikat, TOM air, dan karbon dioksida menggunakan botol nansen. Pengambilan sampel air laut dilakukan pada bagian permukaan dan dasar perairan ( $\pm 30$  cm dari dasar). Sampel air kemudian disimpan pada botol *polyethylene* berwarna gelap dan diletakkan pada *cool box* bersuhu dingin (Parsons *et al.*, 1984).

### Metode Pengumpulan Sampel Sedimen

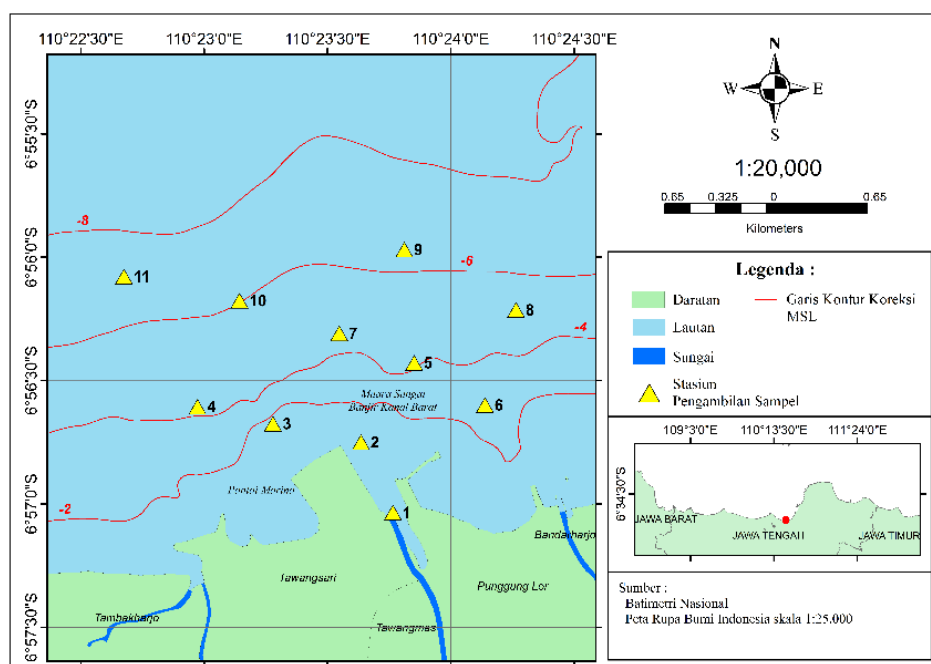
Analisis TOM sedimen dan ukuran butir menggunakan sampel sedimen dasar. Sampel sedimen diambil menggunakan bantuan *sediment grab* kemudian dimasukkan ke dalam plastik *ziplock* untuk disimpan pada *cool box* bersuhu dingin agar tidak terjadi proses dekomposisi (Parsons *et al.*, 1984).

### Metode Pengukuran Silikat

Silikat dianalisis menggunakan metode *molybdosilicate* dengan mengukur absorbansi warna biru pada panjang gelombang 810 nm. Metode ini mengukur silikat dengan menggunakan agen pereduksi *ascorbic acid* atau asam askorbat (Grasshoff *et al.*, 1999). Sampel air laut sebanyak 25 mL disiapkan dalam wadah plastik. Sampel ditambahkan larutan asam sulfat 0,05 mL dan air bromin 0,1 mL kemudian ditunggu 5 menit. Sampel kembali ditambahkan asam molibdat 1 mL lalu ditunggu 10 menit. Sampel ditambahkan asam oksalat 1 mL dan asam askorbat sebanyak 0,5 mL kemudian ditunggu kembali selama 30 menit agar warna biru yang dihasilkan optimal. Sampel dianalisa absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis (810 nm).

### Metode Pengukuran TOM Air

Pengukuran TOM air dilakukan dengan cara titimetri (Badan Standarisasi Nasional, 2004). Digunakan sampel air laut sebanyak 50 mL dan disiapkan dalam erlenmeyer 250 mL dan ditambahkan beberapa tetes larutan kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) 0,01 N hingga sampel berwarna merah muda. Sampel kemudian ditambahkan asam sulfat 8 N sebanyak 5 ml untuk dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 3 menit. Dalam kondisi panas, sampel ditambahkan dengan 10 mL  $\text{KMnO}_4$  0,01 N. Pemanasan dilanjutkan kembali selama 10 menit. Kemudian pemanasan dihentikan dan ditambahkan asam oksalat  $(\text{COOH})_2$  sebanyak 10 mL hingga sampel tidak berwarna.



**Gambar 1.** Stasiun Pengambilan Sampel di Muara Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang

Sampel dititrasi dengan  $\text{KMnO}_4$  0,01 N hingga berwarna merah muda. Perhitungan sampel dilakukan dengan formula:

$$\text{TOM air (mg/L)} = \frac{[(10 + a)b - (10 \times c)]1 \times 31,6 \times 1000}{d} \times f$$

keterangan:  $a$  = volume penggunaan titran  $\text{KMnO}_4$  (mL);  $b$  = normalitas titran  $\text{KMnO}_4$ ;  $c$  = normalitas  $(\text{COOH})_2$ ;  $d$  = volume sampel air laut (mL);  $f$  = faktor pengenceran.

### Metode Pengukuran TOM Sedimen

TOM sedimen dianalisis menggunakan metode *Loss on Ignition* (LOI) (Leong & Tanner, 1999) dengan perlakuan perendaman menggunakan asam klorida (Meng *et al.*, 2014). Sampel sedimen dalam kondisi kering dan halus direndam dengan asam klorida (HCl) 6 M hingga reaksi berhenti kemudian dibilas dengan akuades. Sampel sedimen dikeringkan menggunakan oven dengan suhu  $80^\circ\text{C}$ . Setelah proses penghilangan kadar air selesai, sampel sedimen dimasukkan ke desikator lalu ditimbang untuk dicatat sebagai berat sebelum pengabuan. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* dengan suhu  $550^\circ\text{C}$  selama 5 jam. Sampel sedimen yang telah diabukan kemudian masuk ke dalam desikator. Sampel sedimen ditimbang sebagai berat sesudah pengabuan sebagai karbon organik total, menggunakan perhitungan LOI (%) sebagai berikut:

$$\text{LOI (\%)} = \frac{\text{berat sebelum pengabuan (g)} - \text{berat sesudah pengabuan (g)}}{\text{berat sebelum pengabuan (g)}} \times 100\%$$

Bahan organik sedimen sebagian besar disusun oleh karbon organik serta sisanya berupa material yang berasosiasi dengan zat atau senyawa yang bersifat organik, maka digunakan sebuah perkalian faktor dengan cara menaikkan nilai karbon organik (Sparks *et al.*, 1996). Hasil karbon organik total dimasukkan ke dalam formulasi untuk dicari nilai TOM sedimen, yaitu:

$$\text{TOM sedimen (\%)} = 0,35 + 1,80 \times \%\text{karbon organik total}$$

### Nilai Korelasi

Nilai hubungan dihasilkan dari proses pengolahan perangkat lunak IBM SPSS dengan produk *moment Pearson* (Priantiningtias & Azizah, 2021). Korelasi diolah melalui data 2 variabel yang ditempatkan pada masing-masing-masing sel melalui *correlate bivariate*. Hasil yang didapatkan berupa angka, yaitu nilai korelasi *Pearson* ( $r$ ) dan nilai signifikansi ( $p$ ). Korelasi *Pearson* menunjukkan sebuah hubungan jika nilai semakin mendekati 1 (Riduwan, 2003). Nilai signifikansi menunjukkan adanya hubungan atau tidak dengan nilai  $p < 0,005$  (Arosyadi & Suyantiningsih, 2020).

### Metode Pengukuran Ukuran Butir Sedimen

Ukuran butir sedimen dianalisa menggunakan cara pengayakan kering (*dry sieving*) bagi sedimen pasir sedangkan bagi sedimen lumpur dianalisis menggunakan cara *pipetting* dan pengayakan basah (*wet sieving*) (Meynita *et al.*, 2016). Pengayakan kering dilakukan dengan cara diambil sampel sedimen kering sebanyak 200 g ke dalam alat pengayak kering (*sieve shaker*), dengan ukuran bertingkat dari atas ke bawah yakni 2; 0,5; 0,3; 0,15; 0,075; 0,063; 0,0625 (mm) selama 10 menit. Sedimen pada masing-masing ukuran kemudian ditimbang. Apabila hasil penyaringan ukuran 0,0625 mm tidak melebihi 6 g, maka tidak dilanjutkan dengan proses *pipetting* dan *wet sieving* bagi sedimen pasir.

**Tabel 1.** Kedalaman Dan Waktu Pipetting (Muslim *et al.*, 2016)

$\Phi$ (mm)	Jarak Tenggelam (cm)	Waktu		
		Jam	Menit	Detik
0,0625	20	-	-	58
0,0312	10	-	1	56
0,0156	10	-	7	48
0,0078	10	-	31	0
0,0039	10	2	30	0

Pipetting dan pengayakan basah (*wet sieving*) dilakukan pada sedimen lumpur serta tidak perlu dikeringkan terlebih dahulu. Sedimen diambil dan dimasukkan ke dalam wadah pot untuk ditimbang berat bersihnya. Sampel dihomogenkan ke dalam gelas ukur 1000 mL. Sampel sedimen yang sudah dihomogenkan dipipet sebanyak 10 mL pada kedalaman dan waktu tertentu (Tabel 1). Sampel kemudian disaring menggunakan *vacuum pump* dan kertas Whatman 2,5  $\mu\text{m}$ . Hasil yang tersaring dikeringkan untuk ditimbang berat bersihnya. Proses selanjutnya dilakukan pengayakan basah (*wet sieving*) bagi sedimen yang mengendap di gelas ukur 1000 mL menggunakan akuades dan saringan ukuran 0,125 mm. Sampel sedimen kemudian dikeringkan untuk ditimbang berat bersihnya.

### Metode Pengukuran Karbon Dioksida Air

Karbon dioksida dianalisis dengan metode alkalimetri dengan cara titrimetri (Clesceri *et al.*, 1999; American Water Works Association, 2002). Sampel air sebanyak 50 mL dalam erlenmeyer ditetesi larutan indikator *phenolphthalein* sebanyak 5 tetes. Jika sampel berubah menjadi warna merah analisis dihentikan dan dianggap kandungan karbon dioksida 0 mg/L tetapi jika sampel tidak terjadi perubahan warna analisis dilanjutkan. Sampel dititrasi dengan natrium hidroksida (NaOH) 0,0454 N hingga berubah warna merah muda. Nilai karbon dioksida dihitung menggunakan formula:

$$\text{Karbon dioksida (mg/L)} = \frac{a \times b \times 44 \times 1000}{c}$$

Keterangan:  $a$  = volume penggunaan titran NaOH (mL);  $b$  = normalitas titran NaOH;  $c$  = volume sampel air laut (mL).

### Metode Simulasi Arus Permukaan

Arus permukaan dimodelkan secara 2 dimensi menggunakan *Hydrodynamic Flow Model FM* menggunakan perangkat lunak MIKE 21 (Suharyo & Adrianto, 2018). Input model simulasi disertakan dengan batimetri, pasang surut, angin, dan *mesh boundary*. Hasil simulasi arus diverifikasi dengan *Mean Relative Error* (MRE), yakni kalibrasi model terhadap data arus permukaan lapangan dimana paling mendekati kondisi sesungguhnya jika  $MRE < 40\%$  (Biffi & Grossman, 2001; Atmodjo, 2011; Zou *et al.*, 2020). Besar kesalahan yang terjadi dianalisis menggunakan nilai MRE, menggunakan rumus:

$$RE = \frac{|x - C|}{x} \times 100\%$$

$$MRE = \sum_{1}^n \frac{RE}{n}$$

Keterangan:  $RE$  = kesalahan relatif (*relative error*);  $MRE$  = rerata kesalahan relatif (*mean relative error*);  $C$  = hasil simulasi;  $x$  = hasil lapangan;  $n$  = jumlah data.



**Gambar 2.** Kondisi Perairan Lepas Estuari Di Lokasi Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Perairan

Terdapat fenomena *blooming* yang terjadi di lokasi penelitian, terutama terlihat jelas di stasiun yang paling jauh dari muara. Stasiun tersebut memiliki kondisi permukaan perairan yang dipenuhi dengan organisme melayang berwarna hijau yang diduga kuat adalah *algae* atau fitoplankton sedangkan pada daerah muara dan pesisir tidak ditemukan fenomena *blooming* seperti yang ditampilkan dalam Gambar 2.

### Konsentrasi Silikat

Konsentrasi silikat di lokasi penelitian memiliki nilai yang bervariasi dengan nilai rerata yang lebih tinggi di permukaan daripada dasar perairan, yakni 6,189  $\mu\text{M}$  dan 4,745  $\mu\text{M}$  (Tabel 2). Konsentrasi silikat di permukaan perairan memiliki rentang konsentrasi 1,976 – 26,013  $\mu\text{M}$ , dimana nilai terendah berada di muara sebelah arah barat (stasiun 3) sedangkan nilai tertinggi terdapat pada badan sungai (stasiun 1). Adapun konsentrasi silikat di dasar perairan memiliki rentang konsentrasi sebesar 1,817 – 22,708  $\mu\text{M}$ , dengan nilai terendah berada di utara muara (stasiun 7) sedangkan nilai tertinggi terdapat di badan sungai (stasiun 1). Tabel 2 menunjukkan bahwa konsentrasi silikat di badan sungai (stasiun 1) dan muara (stasiun 2) memiliki kondisi nilai rata-rata yang lebih tinggi di permukaan daripada dasar perairan. Terdeteksinya silikat di lokasi penelitian diduga karena adanya aktivitas antropogenik dari daratan. Aktivitas manusia di darat berdampak pada nilai kandungan silikat di perairan (Suratman *et al.*, 2010).

Konsentrasi silikat yang tinggi berada di badan sungai (stasiun 1) dan stasiun 2 sedangkan konsentrasi menurun seiring bertambahnya jarak dari stasiun 1 dan stasiun 2 (Tabel 2). Tingginya silikat di badan sungai dan muara dikarenakan adanya pengaruh dari aktivitas daratan yang dibawa oleh air sungai Banjir Kanal Barat yang mengandung suplai silikat. Aliran sungai merupakan suplai pasokan nutrisi silikat di muara Menurut (Meirinawati & Muchtar, 2017) Muara sungai Banjir Kanal Barat mengakumulasi sisa buangan aktivitas manusia di sepanjang aliran dan pesisir yang berdampak pada tingginya konsentrasi silikat. Silikat perairan berasal dari buangan aktivitas antropogenik yang terakumulasi di kolom aliran sungai (Pello *et al.*, 2014). Hal tersebut dibuktikan dengan penelitian di muara sungai Wonokromo dan Porong, Indonesia (Jennerjahn *et al.*, 2004), bahwa aktivitas industri dan domestik yang padat di sepanjang aliran sungai berakibat tingginya konsentrasi silikat di muara. Sementara konsentrasi silikat yang rendah disebabkan oleh jarak dari sumber masukan silikat dan diduga digunakan oleh organisme. Penurunan konsentrasi silikat disebabkan massa air melarutkan kandungan silikat perairan (Simanjuntak, 2007). Rendahnya konsentrasi silikat di perairan dapat terjadi karena diatom mengguakannya untuk membentuk cangkang (*frustule*) dan dinding sel (Wu & Chou, 2003; Marlian, 2016).

Konsentrasi silikat di stasiun 1 (badan sungai) dan stasiun 2 lebih tinggi di bagian permukaan daripada dasar (Tabel 2), sementara pada stasiun selain dua stasiun di atas konsentrasi silikat lebih tinggi di dasar daripada permukaan perairan (Tabel 2). Tingginya silikat di bagian permukaan pada stasiun 1 dan stasiun 2 dikarenakan adanya proses pengadukan yang berdampak perairan menjadi keruh sehingga laju fotosintesis perairan tidak optimal. Hal tersebut didukung dengan nilai kecerahan yang rendah di stasiun 1 dan stasiun 2 (Tabel 3). Pengadukan menyebabkan perairan menjadi keruh sehingga fotosintesis organisme primer tidak berjalan dengan baik disertai dengan peningkatan bahan di perairan dari sedimen (Jennerjahn *et al.*, 2004; Gurning *et al.*, 2019). Kondisi perairan di luar stasiun 1 dan stasiun 2 mendukung untuk terjadinya fotosintesis oleh fitoplankton jenis diatom sehingga silikat berkurang karena dikonsumsi. Diatom melakukan fotosintesis serta membutuhkan nutrisi silikat untuk membangun cangkang (*frustule*) dan dinding sel (Marlian, 2016; Deng *et al.*, 2022). Dinamika tersebut menyebabkan silikat rendah di bagian permukaan karena dimanfaatkan oleh diatom. Konsentrasi silikat lebih tinggi di dasar perairan karena pada permukaan dimanfaatkan oleh organisme primer (Javaheri *et al.*, 2015).

### Nilai TOM Air

Nilai TOM air menunjukkan nilai yang hampir seragam dengan nilai yang lebih rendah di dasar daripada permukaan perairan, yakni 31,744 mg/L dan 30,393 mg/L (Tabel 4). Dasar perairan memiliki nilai TOM berkisar antara 29,704 – 33,180 mg/L, dimana nilai terendah berada di daerah yang paling jauh dari muara (stasiun 9) sedangkan nilai tertinggi berada di badan sungai (stasiun 1). Adapun nilai TOM air di permukaan memiliki rentang antara 28,440 – 32,548 mg/L, dimana nilai terendah berada di daerah yang paling jauh dari muara (stasiun 9) sedangkan nilai tertinggi berada di badan sungai (stasiun 1). Terdeksinya TOM air di lokasi

penelitian dikarenakan adanya beberapa aktivitas antropogenik di daratan, seperti kegiatan domestik, industri, rumah sakit, pariwisata, dan transportasi. Kegiatan manusia yang beragam menghasilkan buangan yang sangat berdampak pada kelimpahan bahan organik di badan perairan (Yuspita *et al.*, 2018; Gurning *et al.*, 2019). Sungai BKB dipenuhi dengan aktivitas domestik dan industri (Haeruddin *et al.*, 2019).

**Tabel 2.** Konsentrasi Silikat di Lokasi Penelitian

Stasiun	Kedalaman dasar (m)	Silikat ( $\mu\text{M}$ )	
		Permukaan	Dasar
1	1,00	26,013*	22,708*
2	0,79	22,459*	9,238*
3	2,00	1,976	2,275
4	2,50	2,100	3,016
5	4,15	2,118	2,174
6	3,80	2,160	2,233
7	5,10	2,236	1,817
8	5,10	2,351	2,015
9	6,15	2,171	2,933
10	7,00	2,337	1,955
11	7,50	2,155	1,828
	rerata ( $\bar{x}$ )	6,189	4,745

**Tabel 3.** Nilai Kualitas Perairan

Stasiun	Kualitas perairan					
	Kecerahan (m)	Salinitas (‰)	Oksigen terlarut (‰)	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	<i>pH</i>	
1	0,537	15,000	8,573	31,075	6,317	
2	0,375	21,000	6,747	31,050	6,407	
3	1,260	29,000	8,813	30,950	6,203	
4	1,380	30,333	8,407	30,950	6,403	
5	1,398	30,000	8,513	30,950	6,393	
6	1,413	29,670	8,290	30,450	6,307	
7	1,920	30,000	7,550	30,250	6,477	
8	1,816	30,000	8,063	30,875	6,277	
9	1,965	29,670	7,963	30,375	6,287	
10	2,617	30,000	7,603	29,625	6,407	
11	3,146	30,000	7,243	29,125	6,480	
	rerata ( $\bar{x}$ )	1,621	27,698	7,979	30,516	6,360

**Tabel 4.** Nilai Bahan Organik Total Air

Stasiun	Kedalaman dasar (m)	Bahan organik total air (mg/L)	
		Permukaan	Dasar
1	1,00	32,548	33,180
2	0,79	31,916	31,600
3	2,00	31,600	32,232
4	2,50	31,600	32,864
5	4,15	30,968	31,916
6	3,80	30,652	32,232
7	5,10	29,072	32,864
8	5,10	29,704	31,600
9	6,15	28,440	29,704
10	7,00	29,072	30,968
11	7,50	28,756	30,020
	rerata ( $\bar{x}$ )	30,393	31,744

Nilai tertinggi TOM air berada di stasiun 1 (badan sungai) dan muara sedangkan nilai terendah berada pada daerah yang paling jauh dari muara (Tabel 4). Stasiun 1 dan stasiun 2 menerima suplai bahan organik secara langsung dari aliran sungai Banjir Kanal Barat sehingga berdampak pada tingginya pekatnya kandungan bahan organik di daerah tersebut. Akumulasi pengayaan bahan organik di sepanjang aliran sungai mengakibatkan tingginya bahan organik di perairan estuari (Alfathani *et al.*, 2020). Nilai BOT air yang rendah di daerah yang paling jauh dari muara dikarenakan jarak dari sumber masukan. Penurunan BOT air di lepas muara terjadi diakibatkan adanya jarak yang menjauh dari sumber masukan air yakni muara sungai (Rustam *et al.*, 2018).

Nilai TOM air di dasar dan permukaan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan (Tabel 4). Tingginya TOM di dasar perairan dikarenakan dekatnya dasar perairan dengan sedimen sehingga melepaskan bahan organik sedimen saat terjadi pengadukan. Partikel sedimen dasar yang tersuspensi ke kolom perairan meningkatkan kandungan bahan organik di kolom air (Muslim, 2013). Hal tersebut didukung dengan hasil ukuran butir sedimen (Tabel 6). Ukuran butir sedimen yang kecil mudah untuk mengalami resuspensi sedimen (Rahayu *et al.*, 2022). Bahan organik di permukaan berasal dari hasil fotosintesis fitoplankton. Fotosintesis oleh organisme primer perairan menghasilkan bahan organik (Al Diana *et al.*, 2021). Keberadaan organisme primer di permukaan didukung dengan adanya fenomena *blooming* di lokasi penelitian (Gambar 2).

### Nilai TOM Sedimen

Nilai TOM sedimen di lokasi penelitian secara keseluruhan memiliki nilai rerata 16,687 % (Tabel 5). Nilai tersebut memiliki rentang antara 6,570 – 22,354 %, dimana nilai terendah berada stasiun 2 sedangkan nilai tertinggi berada pada sedimen di daerah utara muara (stasiun 7). TOM sedimen menunjukkan perubahan bersifat acak antar tiap stasiun dan kedalaman di lokasi penelitian. Terdeteksinya nilai TOM sedimen di lokasi penelitian dipengaruhi oleh adanya beberapa aktivitas manusia di sepanjang sungai Banjir Kanal Barat serta tingginya aktivitas pelabuhan dan pariwisata air. Kegiatan transportasi laut yang intens turut menyumbang bahan organik yang dapat terdeposit ke sedimen dasar (Yogaswara & Khozanah, 2018).

Nilai TOM sedimen bersifat divergen dikarenakan sebaran nilai bahan organik juga dipengaruhi ukuran butir sedimennya (Tabel 6), dimana semakin kecil ukuran butir sedimen maka kandungan bahan organiknya lebih tinggi. Hal tersebut dibuktikan dengan rendahnya kandungan TOM sedimen di stasiun 2 dikarenakan ukuran butir sedimennya paling besar daripada stasiun di lokasi penelitian, yakni sand (Tabel 6). Sedimen berfraksi kasar seperti *sand*, miskin akan kandungan bahan organik (Utama *et al.*, 2019; Yogaswara & Khozanah, 2018).

### Hubungan antara TOM Air dengan Silikat

Nilai hubungan TOM air dengan silikat di lokasi penelitian ditunjukkan melalui nilai korelasi ( $r$ ) yang mendekati nilai 1 serta nilai signifikansi ( $p$ ) < 0,05 (Tabel 7). TOM air dengan silikat di perairan memiliki hubungan di bagian permukaan ( $r = 0,632$ ,  $p = 0,037$ ) sedangkan pada dasar perairan tidak terjadi hubungan ( $r = 0,395$ ,  $p = 0,229$ ).

**Tabel 5.** Nilai Bahan Organik Total Sedimen

Stasiun	Kedalaman dasar (m)	Bahan organik total sedimen (%)
1	1,00	17,372
2	0,79	6,570
3	2,00	16,970
4	2,50	19,240
5	4,15	16,308
6	3,80	19,668
7	5,10	22,354
8	5,10	15,487
9	6,15	14,386
10	7,00	13,567
11	7,50	21,637
	rerata ( $\bar{x}$ )	16,687



**Tabel 6.** Jenis Butir Sedimen

Stasiun	Fraksi Sedimen			Jenis sedimen
	<i>Sand</i> (%)	<i>Silt</i> (%)	<i>Clay</i> (%)	
1	11,389	86,111	2,500	<i>Silt</i>
2	99,211	0,789	0,000	<i>Sand</i>
3	15,098	80,196	4,706	<i>Silt</i>
4	18,108	76,486	5,405	<i>Silt</i>
5	20,485	72,776	6,739	<i>Sandy silt</i>
6	21,967	72,594	5,439	<i>Sandy silt</i>
7	8,137	81,850	10,013	<i>Silt</i>
8	14,454	75,294	10,252	<i>Sandy silt</i>
9	3,956	80,696	15,348	<i>Silt</i>
10	5,284	76,712	18,004	<i>Silt</i>
11	5,119	71,298	23,583	<i>Clayey silt</i>
rerata ( $\bar{x}$ )	20,292	70,437	9,272	<i>Sandy silt</i>

**Tabel 7.** Nilai korelasi dan signifikansi TOM air dengan silikat

No	Lokasi	Nilai korelasi ( <i>r</i> )	Nilai signifikansi ( <i>P</i> )
1	Permukaan perairan	0,632	0,037
2	Dasar perairan	0,395	0,229

**Tabel 8.** Nilai karbon dioksida air

Stasiun	Kedalaman dasar (m)	Karbon dioksida air (mg/L)	
		Permukaan	Dasar
1	1,00	0,000	3,995
2	0,79	7,990	9,988
3	2,00	5,993	0,000
4	2,50	0,000	0,000
5	4,15	7,591	0,000
6	3,80	0,000	0,000
7	5,10	0,000	0,000
8	5,10	0,000	0,000
9	6,15	7,591	0,000
10	7,00	0,000	0,000
11	7,50	0,000	0,000
	rerata ( $\bar{x}$ )	2,651	1,271

TOM air dengan silikat menunjukkan hubungan yang terjadi di permukaan perairan ( $r = 0,632$ ;  $p = 0,037$ ), sedangkan pada dasar perairan tidak terjadi hubungan ( $r = 0,395$ ;  $p = 0,229$ ). Terjadinya hubungan di bagian permukaan dikarenakan laju fotosintesis lebih optimal daripada di dasar perairan. Fotosintesis terjadi lebih baik di bagian permukaan perairan karena faktor penetrasi sinar matahari (Liu *et al.*, 2009). Organisme primer perairan menghasilkan produk salah satunya bahanorganik. Hal tersebut didukung nilai karbon dioksida di lokasi penelitian yang habis diduga karena dikonsumsi oleh organisme primer (Gambar 2 dan Tabel 8). Fotosintesis di perairan membutuhkan karbon dioksida dan menghasilkan salah satu produk berupa bahan organik (Liu *et al.*, 2020). Sebagai organisme primer, diatom membutuhkan silikat lebih banyak daripada jenis fitoplankton lainnya. Cangkang terluar (*frustule*) fitoplankton jenis diatom disusun dari silikat (Javaheri *et al.*, 2015; Marlian, 2016). Silikat berperan penting dalam pertumbuhan diatom (Li *et al.*, 2014; Fu *et al.*, 2015).

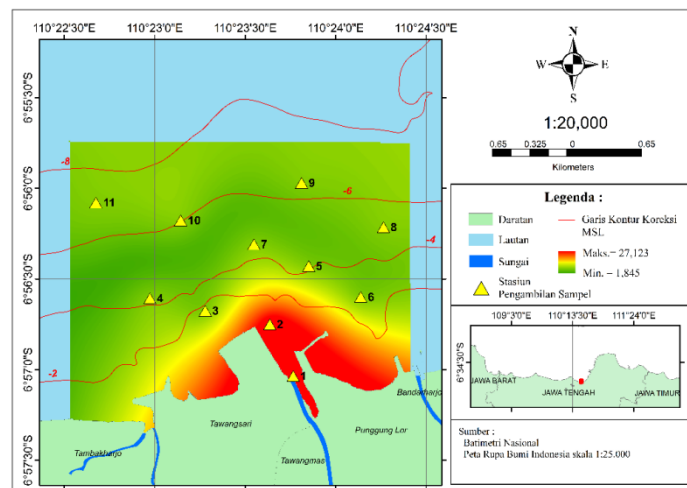
### Sebaran Silikat

Persebaran silikat, baik di permukaan maupun di dasar, terpusat di stasiun 1 (badan sungai) dan stasiun 2 kemudian terdegradasi menuju laut lepas (Gambar 3 dan Gambar 4). Hal tersebut dapat terjadi karena faktor jarak yang dekat dengan sumber masukan aliran air di muara, yaitu sungai. Arus perairan tidak memengaruhi

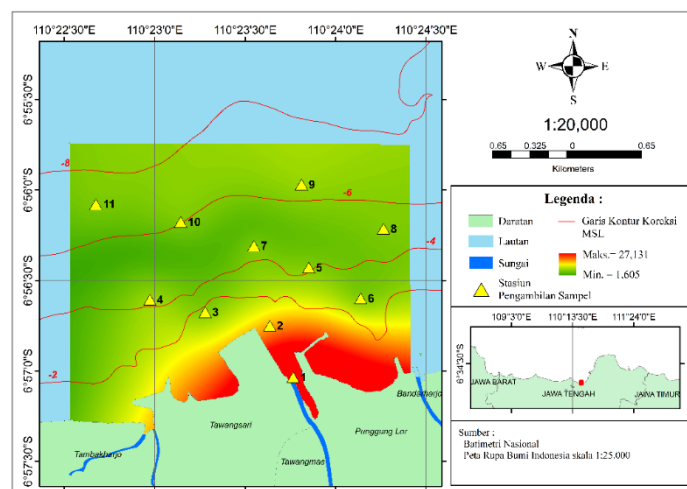
sebaran silikat, akan tetapi sebarannya lebih banyak dipengaruhi oleh keberadaan sungai sebagai pembawa suplai silikat dari daratan (Gambar 8). Sebaran silikat di perairan laut terpusat di daerah yang terdapat masukan aliran air dari daratan kemudian menurun menuju ke arah laut lepas (Jennerjahn *et al.*, 2004). Penurunan konsentrasi silikat disebabkan massa air melarutkan silikat yang jenuh di sumber masukan (Simanjuntak, 2007).

**Sebaran TOM Air**

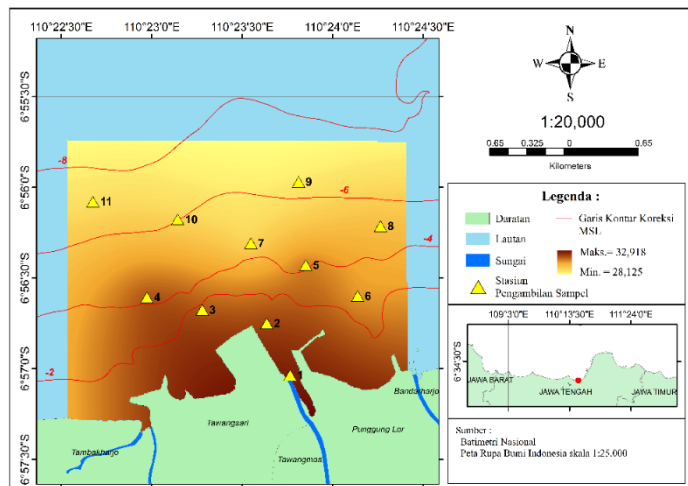
TOM air memiliki persebaran yang berbeda antara kondisi di bagian permukaan (Gambar 5) dan dasar perairan (Gambar 6), dimana sebaran di permukaan dipengaruhi oleh arus perairan (Gambar 8) sedangkan di dasar oleh jenis sedimen dasar (Tabel 6). TOM air di permukaan menyebar menuju arah barat, dimulai dari stasiun 1 (badan sungai) dan stasiun 2 menuju ke arah stasiun 3 dan stasiun 4 (Gambar 5). Persebaran bahan organik perairan dipengaruhi oleh pergerakan arus perairan (Putra & Nugroho, 2017). Arus di perairan Laut Jawa bergerak dari timur menuju arah barat pada musim timur (Yusuf *et al.*, 2012). Sementara di bagian dasar perairan, persebaran TOM air bervariasi yang dipengaruhi ukuran butir sedimen dasarnya. Sebaran TOM air di dasar lebih tinggi di stasiun 1 (badan sungai), stasiun 7, dan stasiun 4 (Gambar 6) daripada stasiun lainnya. Resuspensi partikel sedimen dasar mengakibatkan terjadi kontak antara air dan sedimen sehingga mengangkat beberapa TOM sedimen. Ukuran butir sedimen berpengaruh terhadap kandungan bahan organik perairan melalui pengadukan (Yoswaty *et al.*, 2021).



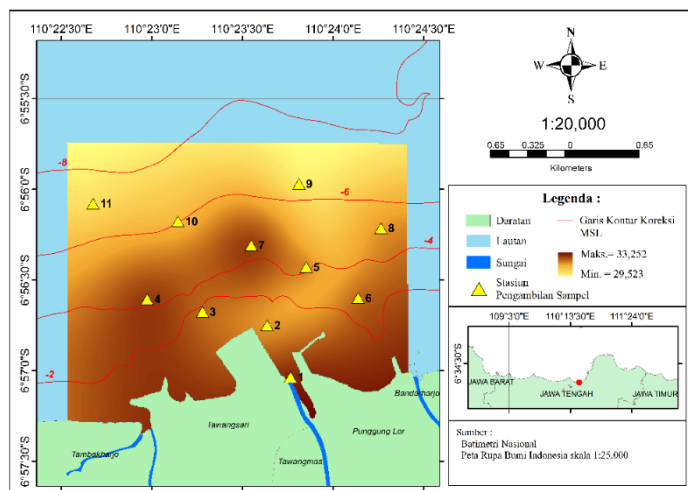
**Gambar 3.** Sebaran silikat di permukaan



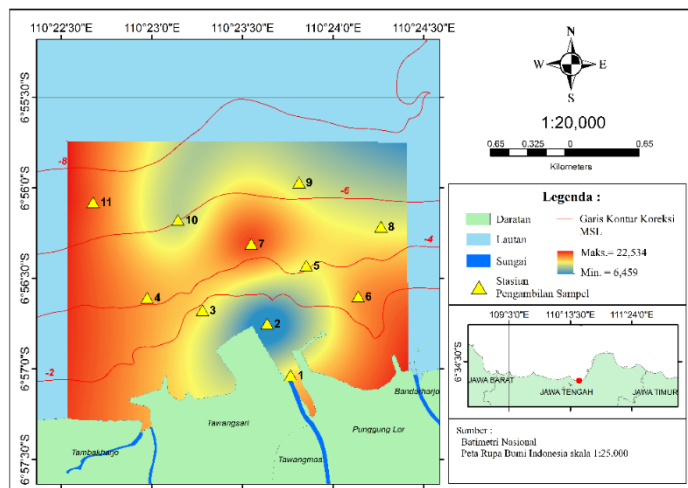
**Gambar 4.** Sebaran silikat di dasar



Gambar 2. Sebaran TOM Air di Permukaan



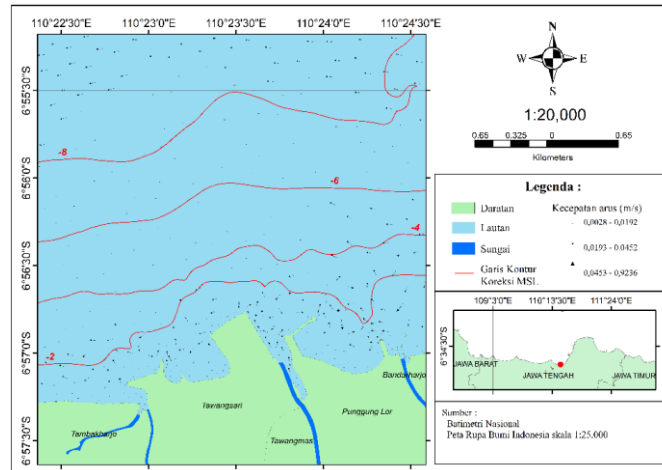
Gambar 3. Sebaran TOM Air di Dasar



Gambar 7. Sebaran Bahan Organik Total Sedimen

**Sebaran TOM Sedimen**

Persebaran TOM sedimen bervariasi secara acak sebab dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti perbedaan ukuran butir sedimen dan kecepatan arus perairan. Terbentuknya jenis sedimen dasar dapat dipengaruhi



**Gambar 8.** Sebaran arus hasil simulasi

oleh kecepatan arus di lokasi penelitian (Gambar 7). Arus yang lambat mendukung terjadinya deposisi sedimen dengan ukuran butir yang lebih kecil. Kecepatan arus yang lambat memiliki energi yang kecil sehingga mengendapkan sedimen berukuran kecil (Marwoto *et al.*, 2021). Sebaran bahan organik di sedimen mengikuti ukuran butir dasar perairan (Permanawati & Hernawan, 2018).

### Sebaran Arus Hasil Simulasi

Peta persebaran arus menunjukkan bahwa kecepatan arus di lokasi penelitian bervariasi (Gambar 8). Kecepatan arus perairan yang paling dekat dengan daratan (termasuk badan sungai) memiliki nilai paling kecil yaitu 0,000232 – 0,012559 m/s, sedangkan pada perairan yang sedikit lebih jauh dari daratan (di bawah kedalaman 2 meter) memiliki kecepatan yang lebih tinggi, yakni 0,012560 – 0,028309 m/s. Penurunan kecepatan arus terjadi di daerah yang paling jauh dari muara dimulai dari kedalaman 2 meter hingga 8 meter.

Arah arus pada peta sebaran menunjukkan pada daerah badan sungai bergerak dari selatan menuju utara kemudian terjadi turbulensi arus hasil pertemuan arus dari arah barat. Arus di dekat pantai menunjukkan arah yang acak tetapi cenderung bergerak dari arah timur menuju barat. Perairan yang paling jauh dari muara, arus bergerak secara stabil dengan arah yang sama, yakni dari timur menuju barat.

### KESIMPULAN

Konsentrasi rata-rata silikat adalah 6,189  $\mu\text{M}$  (permukaan) dan 4,745  $\mu\text{M}$  (dasar), nilai rata-rata TOM air berkisar 30,393 mg/L (permukaan) dan 31,744 mg/L (dasar), sedangkan nilai rata-rata TOM sedimen berkisar 16,687%. Hubungan TOM air dengan silikat di muara sungai Banjir Kanal Barat menunjukkan sebuah hubungan yang terjadi di bagian permukaan ( $r = 0,632$ ;  $p = 0,037$ ), sedangkan pada dasar perairan tidak terjadi hubungan ( $r = 0,395$ ;  $p = 0,229$ ). Persebaran silikat (permukaan dan dasar) tidak dipengaruhi oleh arus melainkan sumber masukan yakni sungai sehingga sebarannya terpusat di badan sungai dan menurun ke arah laut lepas. Persebaran TOM air di bagian permukaan dipengaruhi oleh arah pergerakan arus (dari badan sungai menuju barat sepanjang pesisir) sedangkan sebaran TOM air di dasar dipengaruhi ukuran butir sedimen dasar. Adapun sebaran TOM sedimen dipengaruhi oleh kecepatan arus yang lambat dan persebaran ukuran butir sedimen dasar.

### DAFTAR PUSTAKA

- Al Diana, N. Z., Sari, L. A., Arsad, S., Pursetyo, K. T., & Cahyoko, Y. 2021. Monitoring of Phytoplankton Abundance and Chlorophyll-a Content in the Estuary of Banjar Kemuning River, Sidoarjo Regency, East Java. *Journal of Ecological Engineering*, 22(1): 29–35. <https://doi.org/10.12911/22998993/128877>.
- Alfat'hani, F., Hartoko, A., & Latifah, N. 2020. Analisis Sebaran Horizontal dan Temporal Klorofil-a dan Fitoplankton di Muara Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 4(2): 60 – 68. <https://doi.org/10.14710/jpl.2020.33685>.
- American Water Works Association. 2002. *Simplified Procedures for Water Examination. 5th Edition*. AWWA, Denver. p.219.

- Atmodjo, W. 2011. Studi Penyebaran Sedimen Tersuspensi di Muara Sungai Porong Kabupaten Pasuruan. *Buletin Oseanografi Marina*, 1(1): 60 -81. <https://doi.org/10.14710/buloma.v1i1.2984>.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Air dan Air Limbah: Cara Uji Nilai Permanganat Secara Titrimetri*. Banten. Balai PSDA Jawa Tengah. 2018. Daerah Aliran Sungai (DAS). <https://bpsdataru-bk.jatengprov.go.id/index.php/informasi-sda/sungai/daerah-aliran-sungai> (1 Juli 2022).
- Biffi, S. & Grossman, W. 2001. Evaluating the Accuracy of Defect Estimation Models Based on Inspection Data from Two Inspection Cycles. *Proceedings of the 23rd International Conference on Software Engineering. ICSE 2001*, 19-19 May 2001. <http://dx.doi.org/10.1109/ICSE.2001.919089>.
- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., & Eaton, A. D. 1999. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition*. APHA, Washington D.C.
- Deng, K., Yang, S., & Guo, Y. 2022. A Global Temperature Control of Silicate Weathering Intensity. *Nature Communications*, 13: 1781. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29415-0>.
- Fu, D., Huang, Z., Zhang, Y., Pan, D., Ding, Y., Liu, D., Zhang, Y., Mao, Z., & Chen, J. 2015. Factors Affecting Spring Bloom in The South of Cheju Island in The East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica -English Edition-*, 34(3): 51 – 58. <http://dx.doi.org/10.1007/s13131-015-0633-8>.
- Gobler, C. J., Buck, N. J., Sieracki, M. E., & Sañudo-Wilhelmy, S. A. 2006. Nitrogen and Silicon Limitation of Phytoplankton Communities Across an Urban Estuary: The East River-Long Island Sound System. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 68(1): 131 – 136. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.02.001>.
- Grasshoff, K., Kremling, K., & Ehrhardt, M. 1999. *Methods of Seawater Analysis*. WILEY-CVH, Weinheim.
- Gurning, M., Nedi, S., & Tanjung, A. 2019. Sediment Bahan organik and Makrozoobenthos Abundance in Waters of Purnama Dumai. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 2(3): 214-223. <https://doi.org/10.31258/ajoa.2.3.214-223>.
- Haeruddin, Purnomo, P. W., & Febrianto, S. 2019. Pollution Load, Assimilation Capacity and Pollution State of West Banjir Kanal Estuary, Semarang City, Central Java. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 9(3): 723-735. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.3.723-735>.
- Haryono, F. E. D., Illahi, Z. Y., & Dewi, R. 2021. Investigation of Total Organic Matter (TOM) Content During High and Low Water in Inter-Tidal Zone Sediment at Teluk Penyus Coast, Cilacap, Indonesia. *3rd International Conference on Life and Applied Sciences for Sustainable Rural Development (ICLAS-SURE 2020)*, Central Java, 18-19 November 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/746/1/012030>.
- Javaheri, N., Dries, R., Burson, A., Stal, L. J., Sloot, P. M. A., & Kaandorp, J. A. 2015. Temperature Affects the Silicate Morphology in a Diatom. *Scientific Reports*, 5: 1 – 6. <https://doi.org/10.1038/srep11652>.
- Jeniarti, M., Perwira, I. Y., & Negara, I. K. W. 2021. Kandungan Nitrat, Fosfat, dan Silikat di Perairan Pantai Pandawa, Bali. *Current Trends in Aquatic Science*, 4(2): 193 – 198.
- Jennerjahn, T. C., Ittekkot, V., Klöpper, S., Adi, S., Nugroho, S. P., Sudiana, N., Yusmal, A., Prihartanto, & Gaye-Haake, B. 2004. Biogeochemistry of a Tropical River Affected by Human Activities in Its Catchment: Brantas River Estuary and Coastal Waters of Madura Strait, Java, Indonesia. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 60(3): 503 – 514. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2004.02.008>.
- LaRowe, D. E., Arndt, S., Bradley, J. A., Estes, E. R., Hoarfrost, A., Lang, S. Q., Lloyd, K. G., Mahmoudi, N., Orsi, W. D., Walter, S. R. S., Steen, A. D., & Zhao, R. 2020. The Fate of Organic Carbon in Marine Sediments - New Insights from Recent Data and Analysis. *Earth-Science Reviews*, 204: p.103146. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103146>.
- Leong, L. S., & Tanner, P. A. 1999. Comparison of Methods for Determination of Organic Carbon in Marine Sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 38(10): 875-879. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00013-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00013-2).
- Li, H., Zhang, C., Han, X., & Shi, X. 2014. Changes in Concentrations of Oxygen, Dissolved Nitrogen, Phosphate, And Silicate in The Southern Yellow Sea, 1980-2012: Sources and Seaward Gradients. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 163: 44 – 55. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.12.013>
- Liu, S. M., Hong, G. H., Zhang, J., Ye, X. W., & Jiang, X. L. 2009. Nutrient Budgets for Large Chinese Estuaries. *Biogeosciences*, 6(10): 2245–2263. <http://dx.doi.org/10.5194/bg-6-2245-2009>.
- Liu, D., Du, Y., Yu, S., Luo, J., & Duan, H. 2020. Human Activities Determine Quantity and Composition of Dissolved Organic Matter in Lakes Along the Yangtze River. *Water Research*, 168: p.115132. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115132>.
- Marlian, N. 2016. Analisis Variasi Konsentrasi Unsur Hara Nitrogen, Fosfat Dan Silikat (N, P Dan Si) di Perairan Teluk Meulaboh Aceh Barat. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 3(1): 1 – 6. <https://doi.org/10.29103/aa.v3i1.329>.

- Marwoto, J., Windyartanti, O., & Muslim. 2021. Pengaruh Padatan Tersuspensi terhadap Konsentrasi Klorofil-a dan Fosfat Inorganik Terlarut di Muara Banjir Kanal Barat, Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(2): 224 – 229. <https://doi.org/10.14710/jkt.v24i2.10703>.
- Maslukah, L., Wulandari, S. Y., & Yasrida, A. 2017. Rasio Organik Karbon Terhadap Fosfor Dalam Sedimen di Muara Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 6(1): 39-45. <https://doi.org/10.14710/buloma.v6i1.15740>.
- Meirinawati, H & Muchtar, M. 2017. Nitrate, Phosphate and Silicate Seasonal Distribution in Bintan Water Island. *Jurnal Segara*, 13(3): 145 – 146. <http://dx.doi.org/10.15578/segara.v13i3.6493>.
- Meng, J., Yao, P., Yu, Z., Bianchi, T. S., Zhao, B., Pan, H., & Li, D. 2014. Speciation, Bioavailability and Preservation of Phosphorus in Surface Sediments of the Changjiang Estuary and Adjacent East China Sea Inner Shelf. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 144: 27-38. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.04.015>.
- Meynita, D., Muskananfolo, M. R., & Sedjati, S. 2016. Hubungan Tekstur Sedimen dan Kandungan Bahan Organik dengan Kelimpahan Makrozoobentos di Muara Sungai Silandak, Semarang. *Management of Aquatic Resources*, 5(4): 363-370. <https://doi.org/10.14710/marj.v5i4.14636>.
- Muslim. 2013. Pengurangan Racun Amonia, Bahan Organik dan Padatan Tersuspensi di Media Budidaya Udang Galah Dengan Biofilter Dari Bahan Genteng Plastik Bergelombang. *Jurnal Bumi Lestari*, 13(1): 79-90.
- Muslim, Prihatiningsih, W. R., & Arjana, R. A. 2016. Aktifitas 137Cs dan Total Organik Karbon dalam Sedimen di Sekitar Pulau Tikus Samudera Hindia. *Jurnal Keselamatan Radiasi dan Lingkungan*, 1(1): 6-10.
- Parsons, T. R., Maita, Y., & Lalli, C. M. 1984. *Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press, Great Britain.
- Pello, F. S., Adiwilaga, E. M., Huliselan, N. V., & Damar, A. 2014. Pengaruh Musim Terhadap Beban Masukkan Nutrien di Teluk Ambon Dalam. *Jurnal Bumi Lestari*, 14(1): 64 – 69.
- Permanawati, Y & Hernawan, U. 2018. Organic Carbon Distribution Based on Core Sedimen in Lembata Wates, Flores Sea. *Jurnal Geologi Kelautan*, 16(1): 51-66. <http://dx.doi.org/10.32693/jgk.16.1.2018.541>.
- Priantiningih, F. N., & Azizah, U. 2021. Analisis Korelasi Keterampilan Metakognitif dengan Hasil Belajar Kimia Siswa. *Jurnal Kependidikan*, 7(3): 748 – 755. <https://doi.org/10.33394/jk.v7i3.3348>.
- Putra, P. S., & Nugroho, S. H. 2017. Distribusi Sedimen Permukaan Dasar Laut Perairan Sumba, Nusa Tenggara Timur. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 2(3): 49–63. <http://doi.org/10.14203/oldi.2017.v2i3.118>.
- Rahayu, K., Muliadi, Muhardi, Putra, Y. S., Risiko & Susiati, H. 2022. Distribution of Bed Load in Sungai Raya Waters, Bengkayang Regency, West Kalimantan. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 5(1): 19 – 24. <http://dx.doi.org/10.26418/lkuntan.v5i1.46940>.
- Riduwan. 2003. *Dasar-dasar Statistika*. Alfa Beta, Bandung.
- Arosyadi, M. I. & Suyantiningsih. 2020. Korelasi Antara Persepsi Pengelolaan dan Layanan Pustaka dengan Motivasi Belajar di Digital Library UNY. *Jurnal Epistema*, 1(1): 59-67. <http://doi.org/10.21831/ep.v1i1.32489>.
- Rustam, A., Adi, N. S., Mustikasari, E., Kepel, T. L., & Kusumaningtyas, M. A. 2018. Characteristics of Sediment Distribution and Sedimentation Rate in the Bay of Banten. *Jurnal Segara*, 14(3): 137 – 144. <http://dx.doi.org/10.15578/segara.v14i3.7351>.
- Simanjuntak, M. 2007. Phosphate, Nitrate and Silicate Concentration in Jakarta Bay. *Jurnal Perikanan*, 9(2): 283 – 286. <https://doi.org/10.22146/jfs.41>.
- Sospreda, J., Niencheski, L. F. H., Falco, S., Andrade, C. F. F., Attisano, K. K., & Rodilla, M. 2018. Identifying the Main Sources of Silicate in Coastal Waters of the Southern Gulf of Valencia (Western Mediterranean Sea). *Oceanologia*, 60(1):52-64. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2017.07.004>.
- Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., & Sumner, M. E. 1996. *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Wisconsin.
- Stallard, R. F. 1998. Terrestrial Sedimentation and The Carbon Cycle: Coupling Weathering and Erosion to Carbon Burial. *Global Biogeochemical Cycle*, 12(2): 231-257. <https://doi.org/10.1029/98GB00741>.
- Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*. Alfabeta, Bandung.
- Suharyo, O. S., & Adrianto, D. 2018. Studi Hasil Running Model Arus Permukaan dengan Software Numerik Mike 21/3 (Guna Penentuan Lokasi Penempatan Stasiun Energi Arus Selat Lombok-Nusapenida). *Applied Technology and Computing Science Journal*, 1(1): 30-38. <https://doi.org/10.33086/atcsj.v1i1.8>.

- Suratman, S., Weston, K., Greenwood, N., Sivyver, D. B., Pearce, D. J., & Jickells, T. 2010. High Frequency Measurements of Dissolved Inorganic and Organic Nutrients Using Instrumented Moorings in the Southern and Central North Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 87(4): 631–639. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.03.001>.
- Tang, T., Kisslinger, K., & Lee, C. 2014. Silicate Deposition During Decomposition of Cyanobacteria May Promote Export of Picophytoplankton to the Deep Ocean. *Nature Communications*, 5: p.4143. <https://doi.org/10.1038/ncomms5143>.
- Umiatun, S., Carmudi & Christiani. 2017. Hubungan Antara Kandungan Silika dengan Kelimpahan Diatom Benthik di Sepanjang Sungai Pelus Kabupaten Banyumas. *Scripta Biologica*, 4(1): 61–67. <https://dx.doi.org/10.20884/1.sb.2017.4.1.387>.
- Utama, R. P., Nedi, S., & Tanjung, A. 2019. Analysis Content of Organic Matter in Sediment and Abundance of Macrozoobenthos in Teluk Buo Padang West Sumatera. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 2(3): 197-205. <https://doi.org/10.31258/ajaoas.2.3.197-205>.
- Wibowo, M. 2009. Pemetaan Tingkat Kepekaan Lingkungan Pesisir di Kota Semarang. *Jurnal Hidrosfir Indonesia*, 4(1): 17–22.
- Wu, J. T. & Chou, T. S. 2003. Silicate as the Limiting Nutrient for Phytoplankton in a Subtropical Eutrophic Estuary of Taiwan. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 58(1): 155 – 162. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(03\)00070-2](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(03)00070-2).
- Xenopoulos, M. A., Barnes, R. T., Boodoo, K. S., Butman, D., Catalan, N., D’Amario, S. C., Fasching, C., Kothawala, D. N., Pisani, O., Solomon, C. T., Spencer, R. G. M., Williams, C. J. & Wilson, H. F. 2021. How Humans Alter Dissolved Bahan organik Composition in Freshwater: Relevance for The Earth’s Biogeochemistry. *Biogeochemistry*, 154(2): 323 – 348. <https://doi.org/10.1007/s10533-021-00753-3>.
- Yogaswara. D. & Khozanah. 2018. Distribusi Spasial Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) dalam Sedimen Laut Sumba, Nusa Tenggara Timur. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 3(2): 173-181. <http://doi.org/10.14203/oldi.2018.v3i2.193>.
- Yoswaty, D., Amin, B., Nursyirwani, Winanda, H., Sianturi, D. D., & Lestari, A. 2021. Analysis of Organic Matter Content in Water and Sediment in the Coastal Waters of Bengkalis Island, Riau Province. *The 10th International and National Seminar on Fisheries and Marine Science (ISFM X 2021)*, Pekanbaru 15th-16th September 2021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/934/1/012055>.
- Yuspita, N. L. E., Putra, I. D. N. N., & Suteja, Y. 2018. Bahan Organik Total dan Kelimpahan Bakteri di Perairan Teluk Benoa, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 4(1): 129-140. <http://dx.doi.org/10.24843/jmas.2018.v4.i01.129-140>.
- Yusuf, M., Handoyo, G, Muslim, Wulandari, S.Y., & Setiyono, H. 2012. Karakteristik Pola Arus Dalam Kaitannya dengan Kondisi Kualitas Perairan dan Kelimpahan Fitoplankton di Perairan Kawasan Taman Nasional Laut Karimunjawa. *Buletin Oseanografi Marina*, 1(5): 63-74. <https://doi.org/10.14710/buloma.v1i5.6918>.
- Zou, X., Lu, T., Xia, W., Wang, X., Zhang, W., Zhang, H., Di, S., Tao, D., & Cappello, F. 2020. Performance Optimization for Relative-Error-Bounded Lossy Compression on Scientific Data. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 31(7): 1665-1680. <https://doi.org/10.1109/TPDS.2020.2972548>.