PROFIL VERTIKAL DAN HORIZONTAL PARAMETER SALINITAS, DHL, DAN TDS BERDASARKAN VARIASI MUSIMAN DI ESTUARI SUNGAI CITARUM

Nurul Fahimah^{1*}, Annisa Dwi Damayanti¹, Venny Ulya Bunga¹, & Haryo Mubiarto¹

¹Fakultas Teknik Sipil Dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10 Bandung, 40132

*Alamat email: lulufahimah@gmail.com

ABSTRACT

Salinity, electrical conductivity (EC), and Total Dissolved Solid (TDS) are parameters that pose an important role in the distributions of environmental pollution substances in the estuary. The difference in salinity, EC, and TDS concentration vertically (based on the depth in the water column) and horizontally (based on the distance from the estuary mouth) will affect the process of pollutant's transportation and transformation in the estuary. On the other hand, seasonal variations will also affect parameters. Therefore, the information related to the vertical and horizontal profiles of salinity and other parameters based on seasonal variations is necessary to study. The purpose of this study is to analyze the vertical profile and horizontal-vertical of salinity, EC, and TDS concentrations during the rainy season and dry season in the estuary of Citarum River. This research was conducted in April 2018 (rainy season) and August 2018 (dry season) when the low tide. The measurement of salinity, EC, and TDS was directly conducted in the field using a conductivity meter. The results show that the concentration level of salinity, EC, and TDS showed a vertical and horizontal difference in the estuary of the Citarum River. In addition, there are differences in the concentration of salinity, electrical conductivity, TDS in the rainy season and dry season in the estuary of the Citarum River. The level of TDS has a linear relationship between salinity and electrical conductivity, with a value of $R^2 > 95\%$.

Keywords: salinity, electrical conductivity, TDS, seasonal variations, Citarum River Estuary.

PENDAHULUAN

Daerah hilir (*downstream*) Sungai Citarum terletak di Kabupaten Bekasi dan berhubungan langsung dengan Laut Jawa sehingga terjadi pencampuran antara air laut dan air tawar. Proses pencampuran yang terjadi akan berpengaruh terhadap gradien salinitas di sepanjang estuari, yaitu pada bagian mulut memiliki tingkat salinitas air laut yaitu 34-37 ppt dan pada bagian hulu memiliki tingkat salinitas air tawar (Byrne et al., 2020). Proses pencampuran antara air laut dan air tawar akan menyebabkan perbedaan parameter fisik kimia seperti salinitas, *Total Dissolved*

Solid (TDS) dan Daya Hantar Listrik (DHL) di estuari, dengan perairan alami (Games et al., 2015). Perbedaan parameter fisik kimia akan berpengaruh terhadap proses transpor dan transformasi zat pencemar yang memasuki wilayah perairan estuari (Najamuddin, 2017).

Salinitas merupakan berat dari seluruh zat padat terlarut yang terkandung dalam satu kilogram air laut jika semua brom dan yodium digantikan dengan khlor dalam jumlah yang setara (Forch et al. dalam Arief, 1984). DHL menggambarkan kemampuan ion-ion dalam air untuk menghantarkan listrik dan memprediksi kandungan mineral dalam air. Adapun TDS

merupakan kandungan zat terlarut, baik zat organik maupun anorganik, yang terdapat di dalam suatu larutan, dan biasanya TDS mencakup jumlah material, seperti karbonat, bikarbonat, klorida, sulfat, fosfat, nitrat, kalsium, magnesium, natrium, ion-ion organik dan ion-ion lainnya. Berdasarkan pengertiannya, kandungan salinitas, DHL, dan TDS saling memiliki keterkaitan dan ketiga parameter tersebut menjadi indikator terjadinya proses pencampuran antara perairan alami dengan air laut di wilayah estuari melalui aktivitas pasang surut air laut.

Perairan estuari identik dengan tingginya konsentrasi TDS yang dapat mengakibatkan tingginya nilai salinitas dan DHL. Fluktuasi nilai konsentrasi salinitas, DHL, dan TDS tidak hanya dipengaruhi oleh aktivitas pasang surut, tetapi juga dipengaruhi oleh variasi musiman dan perbedaan kedalaman perairan. Berdasarkan variasi musiman, konsentrasi salinitas, DHL, dan TDS di perairan pada musim hujan lebih rendah daripada musim kemarau. Hal ini disebabkan karena adanya faktor pengenceran. Perbedaan kedalaman pada perairan juga akan memicu terjadinya perbedaan distribusi salinitas, DHL, dan TDS. Ketika terjadi proses pencampuran antara air laut dan perairan alami dari kedua massa air tersebut, air laut akan berada pada kolom air bagian bawah dibandingkan dengan air tawar karena air laut memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan air tawar (Dyer, 1973). Oleh karena itu, konsentrasi salinitas pada kolom air bagian bawah akan lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi salinitas pada kolom air bagian atas (permukaan air).

Variasi kedalaman dan jarak horizontal dari mulut sungai akan memengaruhi nilai salinitas, DHL, dan TDS baik pada musim hujan maupun pada

musim kemarau, sehingga informasi parameter ini sangat diperlukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui profil vertikal dan horizontal konsentrasi parameter salinitas, DHL, dan TDS di perairan estuari Sungai Citarum pada musim hujan dan musim kemarau. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi para peneliti yang membutuhkan informasi ini, baik untuk analisis transportasi dan transformasi polutan di estuari Sungai Citarum.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan di perairan estuari Sungai Citarum bagian hilir, Kecamatan Muara Gembong, Kabupaten Bekasi, Provinsi Jawa Barat. Secara geografis, lokasi tersebut terletak antara $5^{\circ} 56' 25,80''$ LS sampai $5^{\circ} 56' 8,13''$ LS dan $106^{\circ} 59' 18,19''$ BT sampai $107^{\circ} 0' 19,57''$ BT. Penelitian yang berupa pengambilan sampel air dilakukan selama dua hari pada periode musim hujan, yaitu pada tanggal 28 April 2018 dan periode musim kemarau, yaitu pada tanggal 31 Agustus 2018. Pengambilan sampel air dilakukan pada kondisi surut. Pengukuran salinitas, DHL dan TDS dilakukan secara *in situ* dengan menggunakan alat *conductivity* meter (merk *Mettler-Toledo SevenGoTM Pro*).

Penentuan titik sampling penelitian ditentukan dengan metode *purposive sampling*, yaitu titik sampling ditentukan secara sengaja berdasarkan pertimbangan yaitu adanya perubahan parameter fisik-kimia karena terjadinya pencampuran antara air laut dan air tawar. Berdasarkan pertimbangan tersebut, peneliti membagi area sampling menjadi tiga zona, yaitu:

1. Zona 1, yaitu zona estuari dengan jarak terdekat dengan Laut Jawa.

2. Zona 2, yaitu zona estuari yang berada diantara Zona 1 dan Zona 3.
3. Zona 3, yaitu zona estuari dengan jarak terdekat menuju ke arah sungai.

Adapun peta titik sampling yang menggambarkan pembagian zona disajikan pada Gambar 1. Selain itu, penentuan titik sampling juga dilakukan berdasarkan tiga lapisan kedalaman (permukaan, tengah dan dasar sungai), dengan kedalaman (h) yang berbeda-beda pada setiap titik sampling. Titik sampling pada lapisan kedalaman ditentukan berdasarkan pertimbangan bahwa adanya perbedaan densitas air laut dan air tawar yang memengaruhi konsentrasi salinitas, DHL dan TDS di kolom air karena adanya perbedaan densitas air laut dan air tawar (Gambar 2).

Analisis data konsentrasi salinitas, DHL dan TDS dilakukan dengan analisis statistik deskriptif. Analisis ini digunakan

untuk memberikan gambaran dari suatu data yang diperoleh. Statistik deskriptif yang digunakan adalah nilai minimum, maksimum, rata-rata (*mean*) dan standar deviasi. Nilai *mean* menunjukkan nilai rata-rata konsentrasi salinitas, DHL, dan TDS yang diukur secara vertical dan horizontal pada musim hujan dan kemarau, dan standar deviasi menunjukkan variasi dari konsentrasi yang diukur. Selain itu, data konsentrasi salinitas, TDS dan DHL dianalisis menggunakan analisis korelasi parsial. Analisis ini digunakan untuk mengetahui hubungan antar variabel yang diukur. Parameter TDS merupakan variabel terikat (*dependent*), sedangkan parameter salinitas dan DHL merupakan variabel bebas (*independent*). Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan *Microsoft Excel*.

Gambar 1. Peta lokasi titik sampling yang menggambarkan pembagian zona.

Gambar 2. Peta lokasi titik sampling yang menggambarkan pembagian kedalaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Salinitas

Konsentrasi salinitas pada wilayah estuari Sungai Citarum pada musim hujan berada pada kisaran antara 0,170 ppt hingga 0,230 ppt dengan rata-rata konsentrasi sebesar 0,203 ppt. Adapun konsentrasi salinitas pada musim kemarau berada pada kisaran antara 8,820–19,420 ppt dengan rata-rata konsentrasi sebesar 13,144 ppt. Berikut merupakan ringkasan statistik mengenai konsentrasi salinitas pada musim hujan dan musim kemarau (Tabel 1).

Salinitas di estuari Sungai Citarum pada musim hujan tergolong sebagai tipe air tawar karena rata-rata konsentrasi salinitas yang terukur $<0,5$ ppt. Menurut Liu et al. (2020), curah hujan yang tinggi dapat memengaruhi penurunan salinitas. Menurut Badan Meterologi Klimatologi dan Geofisika (2018) pada Peta Analisis Sifat Hujan menyatakan bahwa pada bulan April 2018, sifat hujan pada wilayah estuari Sungai Citarum berada di atas normal, yaitu >200 mm dan menyatakan bahwa pada wilayah estuari Sungai Citarum dikategorikan sebagai wilayah dengan tingkat curah hujan menengah dengan kisaran antara

200–300 mm. Pada Tabel 1, konsentrasi salinitas pada musim hujan berkisar antara 0,170–0,290 ppt. Oleh karena itu, rendahnya salinitas dipengaruhi oleh curah hujan yang tinggi pada saat penelitian.

Konsentrasi salinitas pada musim kemarau berada pada kisaran antara 8,820–19,420 ppt, artinya salinitas estuari Sungai Citarum telah sesuai dengan pernyataan Nybakken (1992). Pada musim kemarau, rata-rata konsentrasi di wilayah penelitian adalah 13,144 ppt, sehingga tipe air pada estuari Sungai Citarum tergolong sebagai tipe *mesohaline* (estuari dengan salinitas berada antara 5–18 ppt). Konsentrasi salinitas di wilayah penelitian ini dapat dipengaruhi oleh siklus pasang surut, sehingga dapat berpengaruh terhadap tingginya konsentrasi salinitas (Bakri et al., 2020). Wilayah yang sangat dipengaruhi oleh siklus pasang surut merupakan wilayah (zona) yang memiliki jarak terdekat dengan laut, sehingga semakin menjauhi area laut, maka salinitas juga akan semakin menurun. Menurut Ramadoni et al. (2018), pasang surut dapat menyebabkan pencampuran air di daerah muara dan mengakibatkan terjadinya turbulensi yang berlangsung secara berkala.

Tabel 1. Variasi salinitas berdasarkan kedalaman dan zona pada musim hujan dan musim kemarau.

Pengukuran		Statistik Deskriptif	Salinitas (ppt)	
			Musim Hujan	Musim Kemarau
		Minimum	0,170	8,820
		Maksimum	0,290	19,420
		<i>Mean ± SD</i>	0,203 ± 0,026	13,144 ± 2,943
Secara vertikal (berdasarkan kedalaman)	Permukaan	<i>Mean ± SD</i>	0,199 ± 0,037	12,341 ± 3,179
	Tengah		0,200 ± 0,035	13,688 ± 2,754
	Dasar		0,210 ± 0,034	13,403 ± 2,961
Secara horizontal (berdasarkan zona)	Zona 1	<i>Mean ± SD</i>	0,203 ± 0,026	16,508 ± 1,907
	Zona 2		0,198 ± 0,018	12,382 ± 1,369
	Zona 3		0,199 ± 0,053	10,543 ± 1,297

Gambar 3 merupakan grafik mengenai gambaran dari konsentrasi salinitas di lapisan kedalaman pada masing-masing zona pada musim hujan dan musim kemarau. Kedalaman akan berpengaruh pada salinitas di estuari, dimana salinitas tinggi akan berada pada dasar perairan karena densitas air laut lebih tinggi dibandingkan dengan air tawar (Sugito et al., 2018). Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa nilai salinitas setiap titik pada lapisan kedalaman cukup variatif. Hal ini disebabkan karena nilai salinitas setiap zona 2 dan zona 3 perairan estuari lebih dipengaruhi oleh air sungai dibandingkan air laut. Meskipun begitu, berdasarkan analisa statistik pada Tabel 1, rata-rata

konsentrasi salinitas pada dasar sungai lebih tinggi dibandingkan lapisan permukaan estuari.

Gambar 3a menunjukkan bahwa titik 5A memiliki nilai salinitas tertinggi. Salinitas tinggi tersebut diduga disebabkan karena pengaruh dari aktivitas antropogenik di sekitar lokasi yaitu aktivitas rumah tangga dan aktivitas nelayan. Hal ini sesuai dikemukakan oleh Morford (2014) bahwa salinitas mengalami peningkatan dua kali lipat di Sungai Colorado karena adanya kontribusi dari aktivitas antropogenik. Selain itu, zona perairan juga akan berpengaruh pada salinitas, dimana salinitas tinggi akan didapatkan pada zona yang berhubungan langsung dengan laut.

Gambar 3. Konsentrasi salinitas pada lapisan kedalaman di tiap zona pada (a) musim hujan; (b) musim kemarau.

Sebaran salinitas secara horizontal pada musim kemarau (Gambar 3b dan Tabel 1) menunjukkan bahwa konsentrasi salinitas akan menurun seiring dengan pertambahan jarak dari muara sebesar 16,508 ppt; 12,382 ppt; dan 10,543 ppt. Menurut Hutabarat & Evans *dalam* Anggara et al. (2014), nilai salinitas pada profil vertikal pada dasar perairan akan lebih tinggi, disebabkan oleh densitas air laut lebih besar dibandingkan dengan air tawar. Namun demikian, pernyataan tersebut tidak sejalan dengan hasil penelitian di estuari Sungai Citarum, dimana konsentrasi tertinggi justru terdapat pada lapisan tengah yaitu sebesar 13,688 ppt. Konsentrasi salinitas dengan tingkat rendah terdapat pada lapisan permukaan dan lapisan dasar, dengan nilai yaitu 12,341 ppt dan 13,403 ppt. Tingginya salinitas pada lapisan tengah di wilayah estuari dapat disebabkan karena adanya proses pengadukan pada dasar perairan. Pernyataan yang sama juga dikemukakan oleh Supriadi (2001) bahwa pada perairan dangkal, proses pencampuran massa air secara vertikal dapat terjadi secara efektif, dimana massa air dari dasar perairan dapat naik pada lapisan di atasnya melalui proses pengadukan di dasar perairan.

Daya Hantar Listrik (DHL)

Pada musim hujan, estuari Sungai Citarum memiliki nilai DHL yang berkisar antara 349-589 $\mu\text{S/cm}$ dengan rata-rata DHL sebesar 411,278 $\mu\text{S/cm}$. Pada musim kemarau, nilai DHL pada perairan estuari Sungai Citarum berada pada kisaran 14.680–31.000 $\mu\text{S/cm}$ dengan rata-rata yaitu 21.679 $\mu\text{S/cm}$. Ringkasan statistik dari DHL pada musim hujan secara rinci ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai DHL pada musim hujan yang diteliti pada kondisi surut di estuari Sungai Citarum memiliki nilai yang bervariasi dalam profil horizontal (berdasarkan jarak dari mulut muara) dan profil vertikal (berdasarkan lapisan kedalaman). Hasil yang berbeda terhadap nilai DHL didapatkan pada musim kemarau pada kondisi surut. Nilai DHL saat musim kemarau tergolong tinggi karena di dalam perairan tersebut terdapat garam-garam terlarut dengan jumlah yang banyak. Tingginya nilai DHL di mulut estuari juga dikemukakan berdasarkan hasil penelitian oleh Dewi et al. (2016) yang menyatakan bahwa nilai DHL saat surut berkisar antara 33.200–34.500 $\mu\text{S/cm}$. Menurut Pahiaa *dalam* Widada (2007), DHL dengan nilai 15.000–50.000 $\mu\text{S/cm}$ tergolong sebagai

Tabel 2. Variasi DHL berdasarkan kedalaman dan zona pada musim hujan dan musim kemarau.

Pengukuran		Statistik Deskriptif	Daya hantar listrik ($\mu\text{S/cm}$)	
			Musim Hujan	Musim Kemarau
		Minimum	349	14.680
		Maksimum	589	31.000
		<i>Mean $\pm$ SD</i>	411,278 $\pm$ 69,317	21.679,7 $\pm$ 4.429
Secara vertikal (berdasarkan kedalaman)	Permukaan	<i>Mean $\pm$ SD</i>	408,417 $\pm$ 72,765	20.385,8 $\pm$ 4.937,5
	Tengah		411,083 $\pm$ 71,756	22.411,7 $\pm$ 4.145,9
	Dasar		414,333 $\pm$ 69,465	22.241,7 $\pm$ 4.253,4
Secara horizontal (berdasarkan zona)	Zona 1	<i>Mean $\pm$ SD</i>	415,167 $\pm$ 52,937	26.725,0 $\pm$ 2.829,8
	Zona 2		409,917 $\pm$ 36,403	20.503,3 $\pm$ 2.083,5
	Zona 3		408,750 $\pm$ 105,524	17.810,8 $\pm$ 2.111,3

air asin dan rata-rata nilai DHL di estuari Sungai Citarum berada pada kisaran tersebut, artinya wilayah penelitian saat musim kemarau dipengaruhi oleh arus pasang surut dengan rata-rata nilai salinitas saat itu adalah 13,144 ppt. Pada musim hujan berada pada nilai DHL $<1.500 \mu\text{s/cm}$ yang tergolong sebagai air tawar.

Profil dari nilai DHL pada musim hujan dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4a terlihat bahwa rata-rata nilai DHL dalam arah vertikal mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Triatmodjo dalam Dewi et al. (2016), yang menyatakan bahwa lapisan perairan berpengaruh terhadap profil secara vertikal dari parameter salinitas, artinya nilai DHL akan mengalami peningkatan dengan bertambahnya kedalaman karena massa jenis air laut yang lebih besar dibandingkan dengan massa jenis air sungai sehingga air asin cenderung berada di lapisan dasar. Begitu pula dalam profil horizontal, nilai DHL akan menurun seiring penambahan jarak dari muara. Semakin menuju ke arah hulu sungai maka salinitas akan berkurang

karena pengaruh air tawar lebih dominan sehingga nilai DHL juga akan berkurang. Selain itu, terlihat jelas juga bahwa nilai maksimum dari DHL terdapat pada Zona 3 dan tepatnya pada titik sampling 5A dengan nilai $\pm 600 \mu\text{s/cm}$, dan pada titik sampling yang sama, memiliki nilai salinitas maksimum yaitu $\pm 0,290$ ppt (Tabel 1).

Menurut Setiawan et al. (2014), wilayah perairan dengan nilai DHL $<650 \mu\text{s/cm}$ merupakan wilayah yang tidak dipengaruhi oleh intrusi air laut. Di estuari sungai Citarum tepatnya pada Zona 1, yang berhubungan langsung dengan laut, memiliki nilai DHL $<650 \mu\text{s/cm}$ dengan rata-rata nilai salinitas yaitu 0,203 ppt dan tergolong sebagai air tawar. Nilai DHL dan salinitas yang rendah dipengaruhi oleh faktor lain salah satunya adalah faktor pengenceran saat musim hujan. Penelitian Turunen et al. (2020) membuktikan bahwa terdapat penurunan tingkat konsentrasi DHL akibat proses dilusi.

Berdasarkan Gambar 4b, pola profil DHL secara vertikal pada musim kemarau cenderung akan bertambah seiring dengan bertambahnya kedalaman dan terlihat jelas pada lapisan permukaan ke lapisan tengah

Gambar 4. DHL pada lapisan kedalaman di tiap zona pada (a) musim hujan; (b) pada musim kemarau.

dengan rata-rata nilai DHL yaitu 20.385,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan 22.411,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Namun, dari lapisan tengah ke lapisan dasar, rata-rata nilai DHL mengalami penurunan dari 22.411,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ke 22.241,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan selisih sebesar 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa nilai DHL pada pola distribusi arah horizontal berkurang dari titik sampling 1 ke titik sampling 6. Titik sampling 1 dan 2 merupakan zona 1 yang memiliki rata-rata nilai DHL yaitu 26.725 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dan titik sampling 3 dan 4 merupakan zona 2 dengan rata-rata nilai DHL sebesar 20.503,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, serta titik sampling 5 dan 6 merupakan zona 3 yang memiliki rata-rata nilai DHL listrik sebesar 17.810,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap distribusi DHL berdasarkan arah horizontal adalah debit sungai, semakin kecil debit sungai, maka distribusi DHL ke arah hulu akan semakin jauh. Selain itu, faktor kedalaman pada muara sungai juga berpengaruh, yaitu semakin dalam muara sungai maka semakin mudah pendistribusian DHL ke arah hulu sungai (Setiawan et al., 2014).

Total Dissolved Solid (TDS)

Pada musim hujan, nilai TDS pada musim hujan berada pada kisaran 216 mg/l hingga 365 mg/l dengan rata-rata konsentrasi sebesar 254,944 mg/l.

Sedangkan konsentrasi TDS pada musim kemarau berada pada kisaran 9.280 mg/l hingga 19.250 mg/l dengan rata-rata konsentrasi TDS sebesar 13.481,39 mg/l. Berikut merupakan ringkasan statistik dari TDS pada musim hujan dan musim kemarau dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, terlihat semakin dalam sungai maka konsentrasi TDS pada musim hujan akan semakin meningkat. Rata-rata konsentrasi TDS pada permukaan, tengah dan dasar, yaitu 253,167 mg/l; 254,417 mg/l; dan 257,250 mg/l secara berurutan. Selain itu, konsentrasi TDS juga akan mengalami penurunan dari zona 1 hingga zona 2. Penurunan tersebut terjadi dari mulut muara hingga menuju ke arah hulu sungai, dengan rata-rata konsentrasi TDS dari zona 1, zona 2 dan zona 3 yaitu 257,583 mg/l; 253,750 mg/l; dan 253,500 mg/l. Nilai TDS memiliki hubungan yang erat dengan nilai DHL, sehingga pola distribusi TDS pada arah vertikal (lapisan kedalaman) dan arah horizontal (pembagian zona) mengikuti pola distribusi DHL pada waktu yang sama yaitu nilai DHL pada musim hujan.

Hasil yang berbeda didapatkan pada musim kemarau. Tabel 3 menunjukkan bahwa konsentrasi TDS pada estuari Sungai Citarum pada musim kemarau berada pada kisaran 9.280–19.250 mg/l

Tabel 3. Variasi TDS berdasarkan kedalaman dan zona pada musim hujan dan musim kemarau.

Pengukuran		Statistik Deskriptif	<i>Total dissolved solid (mg/l)</i>	
			Musim Hujan	Musim Kemarau
		Minimum	216	9280
		Maksimum	365	19.250
		<i>Mean ± SD</i>	254,944 ± 43,063	13.481,39 ± 2.376,08
Secara vertikal (berdasarkan kedalaman)	Permukaan	<i>Mean ± SD</i>	253,167 ± 45,537	12.701,67 ± 3.039,49
	Tengah		254,417 ± 44,363	13.930,83 ± 2.565,15
	Dasar		257,250 ± 43,001	13.811,67 ± 2.645,45
Secara horizontal (berdasarkan zona)	Zona 1	<i>Mean ± SD</i>	257,583 ± 32,961	16.606,67 ± 1.768,98
	Zona 2		253,750 ± 22,752	12.721,67 ± 1.266,88
	Zona 3		253,500 ± 65,459	11.115,83 ± 1.302,18

dengan rata-rata konsentrasi TDS sebesar 13.481,39 mg/l. Menurut Pahiaa *dalam* Widada (2007), konsentrasi TDS yang berada pada konsentrasi 10.000–35.000 mg/l tergolong sebagai air asin berdasarkan tingkat keasinan air dan rata-rata konsentrasi TDS di estuari Sungai Citarum pada musim kemarau berada pada kisaran tersebut. Profil konsentrasi TDS pada musim hujan dan musim kemarau berdasarkan arah vertikal dan horizontal dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada Gambar 5a terlihat bahwa konsentrasi TDS maksimum pada musim hujan adalah zona 3 tepatnya di titik sampling 5B. Hal tersebut juga dipengaruhi oleh tingginya nilai DHL pada titik tersebut yang merupakan nilai maksimum dari DHL pada musim hujan. Selain itu, berdasarkan pada kondisi nyata di lapangan untuk titik 5B terdapat kawasan mangrove. Menurut Setiawan dan Larasati (2017), jaringan tumbuhan mangrove atau jaringan pohon yang telah mati (*nekromassa*) dapat mengalami pembusukan jaringan sehingga dapat berkontribusi terhadap tingginya kandungan partikel organik terlarut dan tingginya konsentrasi TDS.

Menurut Pahiaa *dalam* Widada (2007), konsentrasi TDS <1000 mg/l

tergolong sebagai air tawar berdasarkan dari tingkat keasinan air, dan konsentrasi TDS pada musim hujan di estuari Sungai Citarum memiliki rata-rata sebesar 254,944 mg/l sehingga tingkat keasinan air setara dengan air tawar. Rendahnya nilai TDS pada estuari Sungai Citarum disebabkan karena faktor pengenceran akibat curah hujan yang tinggi dan telah dijelaskan sebelumnya pada pemaparan konsentrasi salinitas dan DHL.

Adapun pada musim kemarau (Gambar 5b), pola distribusi TDS secara vertikal menunjukkan bahwa konsentrasi TDS akan mengalami peningkatan juga seiring dengan bertambahnya kedalaman (Tabel 3). Namun pada lapisan tengah dan dasar, rata-rata konsentrasinya akan mengalami penurunan dari 13.930,83 mg/l ke 13.811,67. Penurunan pada lapisan tersebut dipengaruhi oleh nilai DHL yang menunjukkan pola penurunan yang sama pada lapisan tengah ke dasar perairan pada musim kemarau. Begitu pula pada pola distribusi secara horizontal, rata-rata konsentrasi TDS mengalami penurunan dari Zona 1, Zona 2, dan Zona 3 dengan rata-rata konsentrasi masing-masing zona yaitu 16.606,67 mg/l; 12.721,67 mg/l; dan 11.115,83 mg/l (Tabel 3).

Gambar 5. TDS pada lapisan kedalaman di tiap zona pada (a) musim hujan; (b) musim kemarau.

Berdasarkan Gambar 5b terlihat juga bahwa ada beberapa titik sampling yang pola sebaran vertikalnya bervariasi dan tidak mengikuti pola yaitu semakin bertambahnya kedalaman maka konsentrasi TDS meningkat. Konsentrasi TDS yang demikian cenderung terjadi pada wilayah perairan estuari yang dangkal akibat *mixed depth layer*. Namun fluktuasi TDS juga dipengaruhi oleh konsentrasi DHL dan salinitas pada musim hujan dan musim kemarau (Gambar 6).

Gambar 6 menunjukkan bahwa salinitas dan DHL baik pada musim hujan dan musim kemarau memengaruhi konsentrasi TDS. Hal ini dibuktikan dengan nilai R^2 pada musim hujan dan musim kemarau $>95\%$, yang artinya bahwa terdapat hubungan yang linear antara TDS, salinitas dan DHL (Rusydi, 2018).

KESIMPULAN

Tingkat konsentrasi parameter salinitas, DHL, dan TDS menunjukkan perbedaan secara vertikal dan horizontal di estuari Sungai Citarum. Perbedaan konsentrasi hanya terlihat pada musim kemarau, tetapi tidak terlihat pada musim hujan. Secara horizontal, konsentrasi salinitas, DHL dan TDS mengalami penurunan semakin bertambahnya jarak dari mulut muara. Secara vertikal, konsentrasi salinitas, DHL, dan TDS di lapisan permukaan lebih rendah dibandingkan dengan lapisan tengah dan lapisan dasar, tetapi menunjukkan konsentrasi yang lebih tinggi di lapisan tengah dibandingkan lapisan dasar. Selain itu, terdapat perbedaan konsentrasi salinitas, DHL, dan TDS pada musim hujan dan musim kemarau di estuari Sungai Citarum, dimana konsentrasinya

Gambar 6. Hubungan antara TDS terhadap DHL dan salinitas.

lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan pada musim hujan. Tingkat TDS memiliki hubungan yang linear antara salinitas dan DHL, dengan nilai $R^2 > 95\%$.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara & Widada. (2014). Distribusi 1 akibat pengaruh pasang surut pasca normalisasi di Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *Jurnal Oseanografi*, 3(4): 618–627.
- Arief. (1984). Pengukuran salinitas air laut dan peranannya dalam Ilmu Kelautan. *Oseana*, IX(1): 3–10.
- Bakri, B., Sumakin, A., Widiyari, Y., & Ihsan, M. (2020). Distribution pattern of water salinity analysis in Jeneberang river estuary using ArcGIS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419(012116).
- BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika). (2019). *Metode klasifikasi iklim di Indonesia*. Jakarta, Indonesia : UB Press. 112 pp.
- Byrne, R. H., Duxbury, A. C., & Mackenzie, F.T. (2020). Seawater. Retrieved from <https://www.britannica.com/science/seawater>.
- Dewi, K. A., Rochaddi, B., & Rifai, A. (2016). Distribusi salinitas akibat pasang surut di Estuari Sungai Karangsong, Indramayu. *Jurnal Oseanografi*, 5(1): 161–168.
- Dyer, K. R. (1973). *Estuaries: a physical introduction*. New York, USA: John Wiley & Sons. 140 pp.
- Games, M. M., Khalid, N. A., & Muhamad, H. (2015). The influence of tidal activities on water quality of Paka River Terengganu, Malaysia. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 19 (5): 979–990.
- Morford, L. S. (2014). Salinity in the Colorado River Basin. Retrieved from https://watershed.ucdavis.edu/education/classes/files/content/page/6%20Morford-Colorado_Basin_Salinity.pdf
- Najamuddin. (2017). *Dinamika logam berat Pb dan Zn di Perairan Estuari Jeneberang, Makassar*. Bogor, Indonesia: Institut Pertanian Bogor. 108 pp.
- Nybakken, J. W. (1992). *Biologi laut suatu pendekatan biologis*. Jakarta, Indonesia: PT. Gramedia Pustaka Utama. 180 pp.
- Ramadoni, S. H., Ulqodry, T. Z., & Isnaeni, A. R. (2018). Karakteristik massa air dan tipe estuari di tipe estuari di Perairan Muara Sugihan Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Maspari*, 10(2): 169–178.
- Rusydi, A. (2018). Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118(012019).
- Sembel, L. (2010). *Analisis logam berat Pb, Cd dan Cr berdasarkan tingkat salinitas di Estuari Sungai Belau Teluk Lampung*. Papua, Indonesia: Universitas Negeri Papua. 78 pp.
- Setiawan, C., Muzani, Parwata, & Ramadhoan, F. (2014). Kajian intrusi dan kualitas air Sungai Sunter bagian hilir sebagai upaya pengelolaan lingkungan di Jakarta. In *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) Ikatan Geografi Indonesia : Potensi Geografi Indonesia Menuju Kejayaan Abad 21 Asia*. Jurusan Pendidikan Geografi Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Yogyakarta (pp 557–571).

- Setiawan, H., & Larasati, A. (2017). Studi kualitas air sebagai indikator kesehatan perairan mangrove di Pulau Tanakeke Sulawesi Selatan. In *Prosiding Seminar Nasional, Pendidikan Geografi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya*.
- Sugito, Muliadi, & Apriansyah. (2018). Distribusi salinitas di estuari Kapuas Kecil. *Prisma Fisika*, VI(2): 68–74.
- Supriadi, I. H. (2001). Dinamika estuari tropik. *Oseana*, XXVI(4): 1–11.
- Widada S. (2007). Gejala Intrusi Air Laut di Daerah Pantai Kota Pekalongan. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 12(1): 45–52.