

PERUBAHAN SPASIAL *DISSOLVED ORGANIC MATTER* (DOM) DI PERAIRAN YANG MENDAPATKAN PENGARUH DARI DARATAN

I G. N. A. Suryaputra

Jurusan Analis Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja
surya@fulbrightmail.org

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hal-hal yang mempengaruhi *dissolved organic matter* (DOM) di perairan yang mendapatkan pengaruh dari daratan. Sampel diambil dari empat stasiun di lepas pantai Teluk Meksiko pada beberapa kedalaman. Salinitas, suhu, dan kedalaman diukur dengan menggunakan sensor CTD. Oksigen terlarut dan klorofil-a diukur dengan menggunakan sensor multiparameter dari YSI. Konsentrasi *dissolved organic carbon* (DOC) dan *total dissolved nitrogen* (TDN) diukur dengan menggunakan *Shimadzu TOC Analyzer* yang dilengkapi dengan detektor nitrogen total. Analisis data dengan menggunakan *principal component analysis* (PCA) menunjukkan bahwa secara spasial, DOM dipengaruhi oleh dua hal utama, yaitu jarak dari daratan dan kedalaman air.

Kata-kata kunci: *dissolved organic matter, dissolved organic carbon, total dissolved nitrogen, principal component analysis.*

ABSTRACT

This research aimed at studying dissolved organic matter (DOM) changes in seawater affected by terrestrial input. Samples were collected from four station in the Gulf of Mexico at several depths. Salinity, temperature, and water depth were determined using CTD, while dissolved oxygen and chlorophyll-a were using YSI sensor. Dissolved organic carbon (DOC) and total dissolved nitrogen (TDN) concentrations were measured using Shimadzu TOC Analyzer, complemented with total nitrogen detector. Principal component analysis (PCA) result shows that spatially, DOM is affected mostly by distance from nearby shore and water depth.

Keywords: dissolved organic matter, dissolved organic carbon, total dissolved nitrogen, principal component analysis.

PENDAHULUAN

Dissolved organic matter (DOM) merupakan zat organik terlarut di perairan darat dan laut yang mempunyai peranan penting bagi kehidupan di sana. Secara praktis, DOM bisa dikatakan sebagai zat organik yang melewati filter berukuran sekitar 0,45 μm (Herbert dkk., 1995), namun beberapa peneliti menggunakan filter GF/F yang berukuran 0,7 μm karena filter ini bisa dipanaskan hingga 400°C untuk membersihkan karbon yang tersisa. Salah satu komponen DOM yang bisa dianalisis secara kuantitatif adalah *dissolved organic carbon* (DOC) yang mewakili jumlah karbon organik terlarut. Konsentrasi DOC diukur dengan

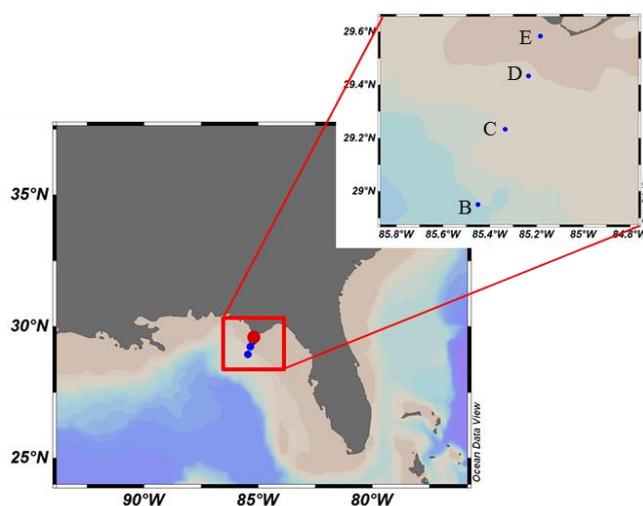
menggunakan *high temperature catalytic oxidation* (HTCO) dengan katalis platinum (Sugimura dan Suzuki, 1988; Suzuki dkk., 1985). Jika dilengkapi dengan detektor nitrogen, maka dalam analisis DOC juga bisa diketahui konsentrasi *total dissolved nitrogen* (TDN).

Kedinamisan DOM di suatu perairan dipengaruhi oleh banyak faktor, baik in-situ maupun ex-situ. Di perairan yang berbatasan dengan daratan, masukan DOM terutama berasal dari daratan, yaitu dari sungai-sungai yang berada di dekatnya (Blough dan Del Vecchio, 2002; Abril dkk., 2001). Selain itu, pada beberapa tahun terakhir, para peneliti menemukan bahwa air bawah tanah juga merupakan sumber DOM yang cukup penting untuk diperhitungkan (Dittmar dkk., 2012; Kim dkk., 2012; Santos dkk., 2008). Dalam penelitian ini akan dipelajari hal-hal yang mempengaruhi DOM di daerah perairan yang masih mendapatkan pengaruh dari daratan.

METODE

Tempat Penelitian

Penelitian ini merupakan bagian dari riset yang dilakukan untuk mempelajari DOM di *West Pass*, Teluk Meksiko. Sampel diambil dari lepas pantai di Teluk Meksiko, USA, pada tanggal 29 Maret 2007 dengan menggunakan kapal penelitian *Bellows*. Sampel diambil dari lima stasiun yang posisinya tegak lurus dengan garis pantai (Gambar 1), namun satu stasiun tidak digunakan dalam perhitungan karena ketidaklengkapan data. Pada tiap stasiun, sampel diambil dari beberapa kedalaman dengan menggunakan *Rosette*. Tiap sampel air disaring dengan menggunakan penyaring GF/F yang berukuran $0,7 \mu\text{m}$ dan disimpan dalam botol kaca setelah terlebih dahulu ditambahkan HCL sampai pH 2 untuk menghilangkan karbon anorganik.



Gambar 1. Tempat Pengambilan Sampel.

Pengukuran

Pengukuran salinitas, suhu, dan kedalaman dilakukan dengan menggunakan sensor CTD (conductivity, temperature, and depth). *Dissolved oxygen* (DO) dan klorofil-a (chl-a) diukur dengan menggunakan sensor multiparameter dari YSI. Konsentrasi DOC dan TDN diukur dengan menggunakan *Shimadzu TOC Analyzer* yang dilengkapi dengan detektor nitrogen total. Setiap sampel diukur 5 kali dan diambil 3 nilai yang memberikan standar deviasi terkecil, kurang dari 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

DOM di *West Pass*

West Pass merupakan daerah tempat keluarnya air tawar permukaan di daerah Florida bagian Barat Laut, dan bertemu dengan air laut yang berasal dari Teluk Meksiko. Namun, untuk keperluan navigasi, kapal-kapal menggunakan *East Pass* sebagai saluran keluar menuju Teluk Meksiko. Selain mendapat pengaruh dari drainase air tawar permukaan di daerah Florida bagian Barat Laut, air payau di wilayah ini juga mendapatkan pengaruh dari Sungai Apalachicola.

Hasil penelitian sebelumnya menemukan bahwa konsentrasi DOC di *West Pass* mendapatkan pengaruh dari air laut yang berasal dari Teluk Meksiko dan air tawar yang berasal dari Sungai Apalachicola (Suryaputra, 2013). Kedua massa air ini diketahui bercampur secara konservatif jika ditinjau dari konsentrasi DOC. Akan tetapi, konsentrasi TDN hanya menunjukkan pencampuran secara konservatif pada permukaan saja. Pada dasar perairan, konsentrasi TDN menunjukkan adanya pengaruh dari proses-proses lain. Penelitian lainnya yang mengambil sampel di Teluk Meksiko dengan mengikuti perubahan salinitas, menemukan bahwa kecuali pada salinitas air laut, sampel menunjukkan pencampuran air laut dan air tawar secara konservatif (Suryaputra, 2014). Pengaruh air tawar terlihat dari nilai C:N yang melebihi Redfield Ratio. Selain itu, proses fotosintesis juga berpengaruh terhadap konsentrasi DOC di Teluk Meksiko, walaupun tidak signifikan.

Untuk mengetahui hal-hal yang mempengaruhi DOM dan variabilitas parameter-parameter yang diukur di Teluk Meksiko, maka dilakukan korelasi silang antar parameter, seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Oksigen terlarut (DO) menunjukkan korelasi berbanding terbalik yang signifikan dengan TDN. Artinya, jika TDN meningkat, maka DO menurun, dan sebaliknya. Menurut Sullivan dkk. (2010), DO di suatu perairan menyatakan keseimbangan antara proses-proses yang menurunkan kadar oksigen (seperti respirasi, nitrifikasi, dan oksidasi kimia) dan proses-proses yang meningkatkan kadar oksigen (seperti fotosintesis). Pada proses biokimia di Teluk Meksiko, meningkatnya konsentrasi TDN juga berarti

meningkatnya konsentrasi nitrogen anorganik (nitrat, nitrit, amonium) di perairan tersebut. Dengan bantuan bakteri Nitrosomonas, amonium diubah menjadi nitrit. Di tahap selanjutnya, nitrit akan diubah menjadi nitrat dengan bantuan bakteri Nitrobacter. Kedua tahapan proses nitrifikasi ini memerlukan oksigen sehingga oksigen yang berada dalam bentuk terlarut akan berkurang.

Tabel 1 juga menunjukkan bahwa salinitas berbanding terbalik secara signifikan dengan konsentrasi TDN, DOC, dan klorofil-a. Hal ini menunjukkan bahwa TDN, DOC, dan klorofil-a berasal dari daratan. Namun, korelasi yang tidak terlalu besar dari salinitas dengan TDN dan klorofil-a menekankan bahwa selain dari daratan, masih ada proses-proses lain yang mempengaruhi konsentrasi TDN dan klorofil-a. Nitrogen terlarut bisa dipengaruhi oleh fotosintesis ekstraseluler melalui difusi pasif (Fogg, 1966; Bratbak and Thingstad, 1985), dan sisa-sisa fitoplankton yang dimakan oleh zooplankton (Dagg, 1974; Lampert, 1978). Sedangkan in situ klorofil-a dipengaruhi oleh fotosintesis dari alga maupun fitoplankton di badan air tersebut. Adanya proses lain ini didukung oleh korelasi positif antara konsentrasi TDN dan klorofil-a yang menyatakan bahwa terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan klorofil-a dan nitrogen terlarut.

Tabel 1. Korelasi silang antar variabel. Angka yang dicetak tebal menunjukkan korelasi yang signifikan.

Korelasi	T, °C	DO, mg/L	Salinitas	TDN, µg/L	DOC, µg/L	Klorofil-a, µg/L
T, °C	1	0.056	-0.354	-0.105	0.288	-0.290
DO, mg/L		1	-0.084	-0.584	-0.261	-0.031
Salinitas			1	-0.522	-0.754	-0.503
TDN, µg/L				1	0.717	0.452
DOC, µg/L					1	0.368

Aplikasi Multivariate

Uji korelasi merupakan statistika yang lazim digunakan oleh para peneliti untuk mempelajari pengaruh satu variabel terhadap variabel lain. Namun, uji korelasi ini mempunyai beberapa kelemahan. Pertama, korelasi hanya bisa dilakukan jika data variabelnya mengikuti distribusi normal, tanpa ataupun dengan transformasi. Data yang mengikuti distribusi normal ini susah untuk didapatkan pada penelitian di bidang kelautan. Kedua, korelasi hanya bisa dilakukan antara dua variabel sehingga ada kemungkinan terdapat *confounding variable* yang tidak dikenali oleh uji korelasi. Untuk mengatasi kekurangan ini, maka para peneliti, termasuk di bidang kimia kelautan, mulai menggunakan statistika multivariate. *Principal Component Analysis* (PCA) merupakan salah satu metode dalam statistika multivariate yang bertujuan untuk mengurangi jumlah variabel sehingga didapatkan

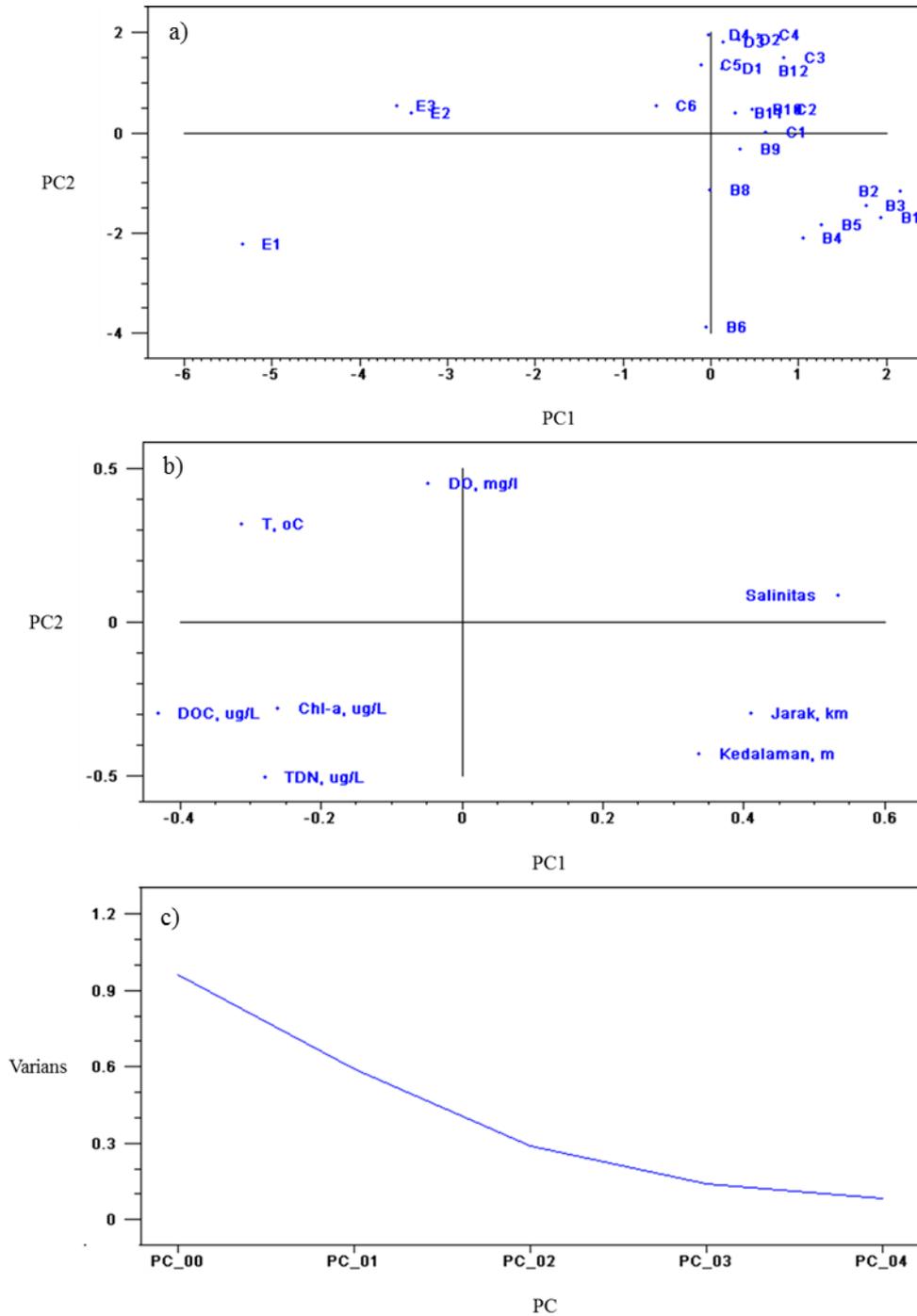
jumlah *principal component* (PC) yang optimum untuk menjelaskan variansi dalam sampel. Untuk menjelaskan PCA, biasanya digunakan tiga macam plot, yaitu *score plot*, *loading plot*, dan *scree plot*. *Score plot* digunakan untuk menjelaskan variasi dalam sampel, *loading plot* digunakan untuk menjelaskan variasi dalam variabel, dan *scree plot* digunakan untuk menentukan jumlah PC optimum.

Pada penelitian ini, selain untuk memperoleh jumlah PC optimum untuk menjelaskan variasi data. PCA juga digunakan untuk mengetahui keterhubungan semua variabel. Oleh karena itu, pada PCA, semua variabel termasuk jarak dan kedalaman diikutsertakan dalam analisis. Gambar 2 menunjukkan hasil PCA dalam bentuk *score plot* (a), *loading plot* (b), dan *scree plot* (c). *Scree plot* menyarankan bahwa variasi data bisa dijelaskan secara optimum dengan menggunakan 3 PC, yaitu PC1 menjelaskan 38% variasi data, PC2 menjelaskan 32% variasi data, dan PC3 menjelaskan 15% variasi data. Namun demikian, jika diakumulasikan, maka dua PC sudah cukup untuk menjelaskan sebagian besar variasi data, yaitu sebesar 70%.

PC1 pada Gambar 2a menjelaskan variasi sampel di permukaan, yaitu dari B1, C1, D1, dan E1. Jika dihubungkan dengan Gambar 2b, variasi PC1 ini terutama disebabkan oleh jarak dari daratan, atau bisa dikatakan pengaruh *terrestrial*. Jarak berkorelasi positif dengan salinitas. Semakin kecil jarak (semakin dekat ke daratan), salinitas semakin kecil karena ada input dari air tawar, terutama yang berasal dari daerah Florida bagian Barat Laut. Input air tawar ini juga akan berpengaruh pada suhu air, yaitu semakin banyak input air tawar, maka suhu air akan semakin tinggi. Jarak dari daratan ini mempengaruhi input DOM, baik DOC maupun TDN, ke Teluk Meksiko. Semakin kecil jarak, maka pengaruh input DOM dari daratan akan semakin besar sehingga konsentrasi DOC dan TDN akan semakin besar. Hal ini menandakan bahwa sumber utama DOM di Teluk Meksiko adalah berasal dari daratan. Penelitian-penelitian DOM sebelumnya juga telah banyak menekankan bahwa sumber utama DOM adalah input dari daratan, seperti sungai (Blough dan Del Vecchio, 2002; Abril dkk., 2001) dan air bawah tanah (Dittmar dkk., 2012; Kim dkk., 2012; Santos dkk., 2008). Sedangkan konsentrasi klorofil-a berkorelasi negatif dengan jarak karena sumber utama klorofil-a adalah berasal dari daun-daun tumbuhan hijau yang tumbuh di daratan.

PC2 pada Gambar 2a dan Gambar 2b menggambarkan variasi sampel yang disebabkan oleh kedalaman air. Kedalaman air akan mempengaruhi banyaknya cahaya matahari yang bisa menembusnya. Cahaya matahari diperlukan oleh proses fotosintesis yang berlangsung di dalam air, baik oleh alga maupun oleh fitoplankton. Dengan demikian, semakin dalam air, cahaya matahari semakin sedikit, dan proses fotosintesis semakin sedikit. Proses fotosintesis menghasilkan oksigen sehingga semakin sedikit proses fotosintesis maka oksigen terlarut juga semakin sedikit. Oleh karena itu, oksigen terlarut (DO) berbanding terbalik dengan kedalaman

air. Yin dkk. (2004) menyatakan bahwa rendahnya nilai DO di dasar perairan juga bisa disebabkan oleh konsumsi bentik.



Gambar 2. Score plot (a), loading plot (b), dan scree plot (c) hasil Principal Component Analysis

PC2 pada Gambar 2a dan Gambar 2b menyatakan bahwa kedalaman berbanding lurus dengan konsentrasi DOC dan TDN. Hal ini bisa dijelaskan oleh dua hal. Pertama, ketersediaan oksigen terlarut di dalam air untuk mengoksidasi DOM, termasuk DOC dan TDN. Di permukaan air, jumlah oksigen terlarut banyak sehingga oksidasi DOC dan TDN

juga berlangsung dalam jumlah besar. Sebaliknya, jumlah oksigen di dasar laut sedikit sehingga oksidasi DOC dan TDN juga lebih sedikit. Kedua, ada masukan dari dasar perairan yang mengandung DOC dan TDN. Dengan adanya masukan dari dasar perairan, maka konsentrasi DOC dan TDN semakin berkurang dari dasar ke permukaan air. Penelitian-penelitian sebelumnya telah menyimpulkan bahwa sedimen merupakan sumber DOM yang perlu diperhitungkan (Otto dan Balzer, 1998; Guo dan Santschi, 2000). Masukan dari sedimen ini juga sejalan dengan korelasi positif antara kedalaman dengan klorofil-a. Jika klorofil-a hanya berasal dari fitoplankton, maka konsentrasi klorofil-a di permukaan saat pengambilan sampel (siang hari) akan lebih tinggi dari konsentrasi klorofil-a di dasar perairan. Pada siang hari, fitoplankton akan berada di permukaan untuk melakukan fotosintesis dan pada malam hari akan berada di dasar perairan untuk melakukan respirasi (Nybakken, 1993). Oleh karena itu, konsentrasi klorofil-a yang tinggi di dasar perairan merupakan masukan dari dasar perairan, yaitu alga. Selain merupakan sumber klorofil-a, alga juga merupakan sumber dari DOC (Mozeto dkk., 2001) dan TDN (Tyler dkk., 2003).

PENUTUP

Penggunaan statistika multivariate memberikan keuntungan dalam penelitian yang melibatkan banyak variabel. Selain mengurangi jumlah variabel, multivariate memudahkan dalam identifikasi pengaruh semua variabel secara simultan. Dalam penelitian ini, dengan menggunakan *principal component analysis* bisa disimpulkan bahwa *dissolved organic matter* di perairan yang masih mendapatkan pengaruh dari daratan, dipengaruhi oleh dua hal utama, yaitu jarak dari daratan dan kedalaman air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Florida State University yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abril, G., Nogueira, M., Etcheber, H., Cabeçadas, G., Lemaire, E., & Brogueira, M. J. (2002). Behaviour of organic carbon in nine contrasting European estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54(2), 241-262.
- Blough, N. V., & Del Vecchio, R. Distribution and dynamics of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the coastal environment, Hansell D., Carlson C., *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter*, 2002, 509-546.

- Bratbak, G., & Thingstad, T. F. (1985). Phytoplankton-bacteria interactions: an apparent paradox? Analysis of a model system with both competition and commensalism. *Marine ecology progress series*, Oldendorf, 25(1), 23-30.
- Dagg, M. J. (1974). Loss of prey body contents during feeding by an aquatic predator. *Ecology*, 903-906.
- Dittmar, T., Paeng, J., Gihring, T. M., Suryaputra, I. G. N. A., & Huettel, M. (2012). Discharge of dissolved black carbon from a fire-affected intertidal system. *Limnology and Oceanography*, 57(4), 1171.
- Fogg, G. E. (1966). The extracellular products of algae. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev*, 4(19), 212.
- Guo, L., & Santschi, P. H. (2000). Sedimentary sources of old high molecular weight dissolved organic carbon from the ocean margin benthic nepheloid layer. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(4), 651-660.
- Herbert, B. E., Bertsch, P. M., McFee, W. W., & Kelly, J. M. (1995). Characterization of dissolved and colloidal organic matter in soil solution: a review. In *Carbon forms and functions in forest soils*. (pp. 63-88). Soil Science Society of America Inc.
- Kim, T. H., Waska, H., Kwon, E., Suryaputra, I. G. N. A., & Kim, G. (2012). Production, degradation, and flux of dissolved organic matter in the subterranean estuary of a large tidal flat. *Marine Chemistry*, 142, 1-10.
- Lampert, W. (1978). A field study on the dependence of the fecundity of *Daphnia spec.* on food concentration. *Oecologia*, 36(3), 363-369.
- Mozeto, A. A., Silvério, P. F., & Soares, A. (2001). Estimates of benthic fluxes of nutrients across the sediment–water interface (Guarapiranga reservoir, São Paulo, Brazil). *Science of the total environment*, 266(1), 135-142.
- Nybakken, J. W. (1993). *Marine biology: an ecological approach*.
- Otto, S., & Balzer, W. (1998). Release of dissolved organic carbon (DOC) from sediments of the NW European Continental Margin (Goban Spur) and its significance for benthic carbon cycling. *Progress in Oceanography*, 42(1), 127-144.
- Santos, I. R., Burnett, W. C., Chanton, J., Mwashote, B., Suryaputra, I. G. N. A., & Dittmar, T. (2008). Nutrient biogeochemistry in a Gulf of Mexico subterranean estuary and groundwater-derived fluxes to the coastal ocean. *Limnol. Oceanogr*, 53(2), 705-718.
- Sugimura, Y., & Suzuki, Y. (1988). A high-temperature catalytic oxidation method for the determination of non-volatile dissolved organic carbon in seawater by direct injection of a liquid sample. *Marine Chemistry*, 24(2), 105-131.

- Sullivan, A. B., Snyder, D. M., & Rounds, S. A. (2010). Controls on biochemical oxygen demand in the upper Klamath River, Oregon. *Chemical Geology*, 269(1), 12-21.
- Suryaputra, I G. N. A. (2014). Sumber-sumber Masukan Dissolved Organic Matter (DOM) di Teluk Meksiko. *Seminar Nasional Optimalisasi Peran MIPA dan Pendidikan MIPA dalam Pengembangan IPTEKS*. Singaraja.
- Suryaputra, I G. N. A. (2013). Variabilitas Dissolved Organic Carbon (DOC) dan Total Dissolved Nitrogen (TDN) di Teluk Meksiko. *Seminar Nasional Peningkatan Mutu MIPA dan Pendidikan MIPA untuk Mendukung Implementasi Kurikulum 2013*. Singaraja.
- Suzuki, Y., Sugimura, Y., & Itoh, T. (1985). A catalytic oxidation method for the determination of total nitrogen dissolved in seawater. *Marine Chemistry*, 16(1), 83-97.
- Tyler, A. C., McGlathery, K. J., & Anderson, I. C. (2003). Benthic algae control sediment-water column fluxes of organic and inorganic nitrogen compounds in a temperate lagoon. *Limnology and Oceanography*, 48(6), 2125-2137.
- Yin, K., Lin, Z., & Ke, Z. (2004). Temporal and spatial distribution of dissolved oxygen in the Pearl River Estuary and adjacent coastal waters. *Continental Shelf Research*, 24(16), 1935-1948.