

KAJIAN DISTRIBUSI KONSENTRASI FOSFAT PADA SEDIMEN SUNGAI BRANTAS HULU DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK DGT (*Diffusive Gradient in Thin Film*)

Study of The Phosphate Distribution in The Sediment on Downstream Brantas River Using DGT (*Diffusive Gradient In Thin Film*) Technique

Frida Kunti Setiowati¹, Barlah Rumhayati²

¹Biologi Universitas Negeri Malang, ²Kimia Universitas Brawijaya Malang

Email : fridakunti@yahoo.com

Abstract- The role of phosphate compounds as limiting nutrients for algae growth in aquatic systems contribute to the occurrence of eutrophication in water bodies. Determination of phosphate was performed by in situ sampling methods technique called DGT (*Diffusive Gradient in Thin Films*). Prob DGT consists of 3 layers as binding gel, diffusive gel, and membrane filters. With the DGT method, phosphate from sediment pore water will through the diffusive gel and accumulate on the binding layer containing $\text{La}(\text{OH})_3$. Samples of sediments taking using sediment cores. Samples taken on 2 (two) locations each 3 points of sampling. Measurement of pH, temperature, and conductivity of water sampling conducted at the site. Profile presence of phosphate is also linked to the presence of nitrate, manganese and iron in the sediments. Analysis of phosphate, nitrate, manganese and iron made by spectrophotometric method. As a results, at location I, the range of phosphate concentration at point A, B and C are consecutive from 0.0630 to 0.1598 ppm, 0.1306 to 0.2185 ppm and 0.1568 to 0.2082 ppm. Phosphate concentration was increased with increasing depth of sediment, while at location II, the phosphate concentration range at point A, B and C are consecutive 0.1204 to 0.2470 ppm, 0.1479 to 0.3466 ppm and 0.1806 to 0.2603 ppm. From this research we can conclude that the sediments of Brantas River downstream has an important role in the phosphate cycle in which these sediments act as a sink and source of phosphate in the waters.

Keywords : DGT technique, sediment, phosphate

PENDAHULUAN

Fosfat dan nitrogen adalah nutrisi penting untuk pertumbuhan tanaman baik pada sistem perairan maupun terestrial. Kekurangan salah satu dari nutrisi dalam sistem tersebut akan membatasi pertumbuhan tanaman (Von Liebig, 1855; Schlesinger, 1991; Vitousek dan Howarth, 1991 dalam Smith, 2009).

Bendungan Sutami terletak di desa Karangates Kab. Malang. Lokasi bendungan berada pada Sungai Brantas ± 35 km dari kota Malang. Meningkatnya aktivitas manusia akhir-akhir ini di sepanjang aliran sungai telah memberi pengaruh terhadap ekosistem muara. Pada sekitar tahun 2002, bendungan ini mengalami alga blooming.

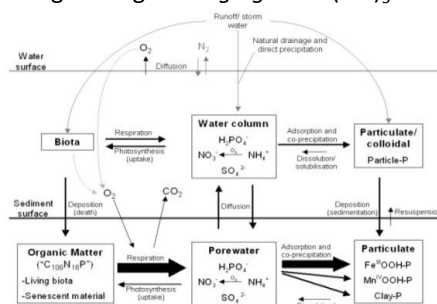
Sedimen di danau, sungai ataupun laut secara umum dapat dikatakan sebagai penampung dan sumber dari fosfat. Fosfat di sedimen ini berasal dari *autochthonous*, *allochthonous* dan sebagian lagi adalah fosfat terlarut yang teradsorpsi pada

permukaan sedimen (Atlas dan Bertha, 1998). Sedimen terbentuk dari partikel-partikel yang tenggelam melewati badan air (*water column*) dan terakumulasi pada bagian dasar. Air yang mengisi rongga atau ruang diantara partikel-partikel yang terakumulasi dinamakan air pori sedimen (*porewater*). Di dalam *porewater* terjadinya interaksi antara partikel-partikel karena adanya mobilitas yang tinggi dari spesies terlarut sehingga komposisi kimia dari *porewater* mencerminkan proses yang terjadi di dalam sedimen. Meningkatnya konsentrasi fosfat disamping karena aktifitas manusia, dapat pula disebabkan karena difusi fosfat dari sedimen ke *water column*. Pertukaran nutrisi antara lingkungan yang berbeda terjadi melalui sebuah rangkaian proses geologis, kimia, biologi serta fisika yang saling terkait sehingga membentuk suatu siklus biogeokimia. Proses biogeokimia yang melibatkan spesies nutrisi di dalam

lingkungan bawah air, disajikan pada gambar 1.

Di dalam sedimen, fosfat terdapat dalam bahan organik, sedangkan di atas sedimen merupakan spesies ionik. Fosfat yang ada pada bahan organik akan ditransformasikan menjadi fosfat dalam *pore water* melalui reaksi mineralisasi dan respirasi yang memerlukan adanya sebuah penerima elektron. Pada kondisi oksik, yang berperan sebagai oksidator adalah oksigen. Dengan adanya oksigen ini, logam seperti besi dan mangan akan berubah ke dalam bentuk Fe^{3+} dan Mn^{4+} . Dalam kondisi seperti itu, sebagian besar fosfat akan berpindah dari *pore water* ke fasa partikulat dan terserap ke dalam besi (III) atau mangan (IV) hidroksida, dan pada bagian terbawah akan berikatan dengan clay.

Metode sampling secara *in situ* yang disebut dengan teknik DGT (*Diffusive Gradient in Thin Film*) dikembangkan oleh Bill Davison dan Hao Zhang di Lancaster pada tahun 1994, kemudian digunakan untuk mengukur konsentrasi dan fluks zat terlarut dalam sedimen dan tanah (Hooda et al,1999). Dalam perangkat DGT atau probe DGT ini terdiri atas 3 lapisan yaitu gel pengikat (*binding gel*), gel diffusi (*diffusive gel*), dan membran filter. Dengan metode DGT, fosfat yang terlarut dalam *pore water* akan berdiffusi melalui *diffusive gel* dan akan terakumulasi pada lapisan *binding gel* yang mengandung *binding agent* $La(OH)_3$.



Gambar.1. Siklus biogeokimia nutrisi (khususnya fosfat) di perairan (Lansdown, 2004)

Pada saat perangkat DGT ditancapkan, spesies labil yang ada pada larutan *bulk* akan berdiffusi melalui lapisan *diffusive gel* dan akan terakumulasi pada lapisan *binding gel*. Teknik DGT didasarkan pada hukum pertama Fick's tentang diffusi. Lapisan binding gel ini dipisahkan dari larutan *bulk* dengan adanya ketebalan gel dan filter membran sebesar Δg (cm). Flux, F (g/cm^2dt) dari spesies yang berdiffusi melalui lapisan *diffusive gel* diberikan pada persamaan 1. Dimana C (g/cm^3) adalah konsentrasi spesies pada larutan *bulk*, D (cm^2/dt) adalah koefisien diffusi yang diberikan oleh spesies.

$$F = \frac{DC}{\Delta g} \quad (1)$$

Flux dari spesies yang melewati DGT (F_{DGT}) diperoleh juga dari pengukuran massa M (g) yang berdiffusi melalui suatu luas area A (cm^2) dengan waktu tertentu t (dt), persamaan 2.

$$F_{DGT} = \frac{M}{A t} \quad (2)$$

Dari persamaan 1 dan 2, maka konsentrasi yang terukur dengan menggunakan teknik DGT ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

$$C_{DGT} = \frac{M \Delta g}{D A t} \quad (3)$$

Menyadari bahwa senyawa fosfatlah yang menjadi penyebab terjadinya eutrofikasi, maka perlu dilakukan monitoring distribusi konsentrasi senyawa fosfat pada variasi kedalaman sedimen yang diukur dengan menggunakan teknik DGT dengan tujuan untuk mendapatkan informasi dan melakukan kajian terhadap profil konsentrasi senyawa fosfat pada variasi kedalaman sedimen.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2011 sampai dengan bulan Mei 2011. Pengambilan sampel dilakukan di aliran sungai Brantas hulu di daerah Kepanjen dan Kotamadya Malang propinsi



Jatim. Bahan-bahan yang diperlukan untuk pembuatan lapisan hidrogel perangkat DGT meliputi acrylamida 40%, DGT crosslinker (*DGT Research Ltd, UK*), ammonium persulfat, TEMED, $\text{La}(\text{OH})_3$, ammonium persulfat, TEMED dan membran filter polisulfon $0,45 \mu\text{m}$. Alat yang digunakan antara lain probe DGT yang terbuat dari akrilik, 2 lempengan kaca untuk mencetak gel, sedimen core, akuarium, multi parameter untuk pengukuran pH, konduktivitas dan temperatur, DO meter, sentrifuge, spektrofotometer UV-VIS dan serangkaian alat gelas.

Sampling sedimen dilakukan pada 2 (dua) lokasi. Sebanyak 6 (enam) unit core akan digunakan untuk mengambil sampel sedimen pada tiap lokasi. Pada setiap lokasi akan diambil 3 titik (A, B, dan C) yang masing-masing berjarak 20 m. Pada masing-masing titik tersebut akan diambil sebanyak 2 (dua) core sedimen. 1 (satu) core yang berisi sampel sedimen pada tiap titik akan digunakan untuk penancapan DGT untuk mengakumulasi fosfat. 1 (satu) core lainnya pada tiap titik akan di *sliced* untuk analisis fosfat, NO_3^- , Mn^{2+} dan Fe^{2+} .

Dalam penerapannya, probe DGT ini ditanamkan pada sedimen selama ± 14 hari untuk mengakumulasi dari *pore water* sedimen. Setelah proses pencabutan probe, peralatan dibongkar dan lapisan *binding gel* di potong-potong tiap 1 cm, kemudian tiap potongan *binding gel* di elusi dengan H_2SO_4 0,05 M (Rumhayati, 2007). Konsentrasi fosfat dalam eluat ditentukan secara spektrofotometri. *Slicing atau* pemotongan pada sedimen juga dilakukan terhadap 6 (enam) sedimen dalam core lainnya untuk analisis NO_3^- , Mn^{2+} , Fe^{2+} . Konsentrasi NO_3^- , Mn^{2+} , Fe^{2+} juga ditentukan secara spektrofotometri.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada lokasi I, seperti disajikan pada gambar 3, 4 dan 5, hasil pengukuran konsentrasi fosfat dari tiga titik sampling menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat yang ada di dalam badan air sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi fosfat yang ada dalam sedimen. Seperti disajikan pada Tabel 1, rentang konsentrasi fosfat yang terukur pada titik A adalah 0,0630-0,1598 ppm, pada titik B 0,1306-0,2185 ppm dan pada titik C 0,1568-0,2082 ppm. Secara alami, fosfat didalam sedimen dihasilkan oleh dekomposisi bahan organik dan pelapukan mineral sedimen. Dari profil fosfat, nitrat, Fe^{2+} dan Mn^{2+} pada tiga titik sampling di lokasi I ini, memperlihatkan pola yang sama terhadap kenaikan dan penurunan konsentrasinya, dimana konsentrasi fosfat, nitrat, Fe^{2+} dan Mn^{2+} terlihat cenderung meningkat dengan bertambahnya kedalaman sedimen. Konsentrasi nitrat pada titik A dan C menunjukkan adanya penurunan, sedangkan pada titik B menunjukkan adanya kenaikan dengan bertambahnya kedalaman sedimen. Sedangkan konsentrasi Fe^{2+} dan Mn^{2+} pada ketiga titik menunjukkan kenaikan dengan bertambahnya kedalaman sedimen. Penurunan konsentrasi nitrat di titik C diduga disebabkan karena adanya penurunan oksigen terlarut sehingga terjadi reduksi nitrat dalam *pore water* sedimen. Kondisi pengurangan oksigen terlarut ini lama-lama akan menyebabkan kondisi sedimen menjadi anoksik. Menurut Lansdown (2004) dan DeLaune (2005), begitu seluruh oksigen telah habis dikonsumsi, maka proses respirasi berlanjut dengan menggunakan oksidator yang lain seperti nitrat, Mn^{4+} dan Fe^{3+} .

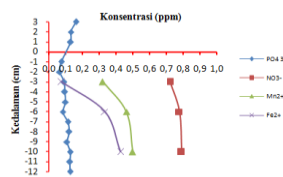


Tabel 1. Konsentrasi PO_4^{3-} , NO_3^- , Fe^{2+} , Mn^{2+} di setiap sentimeter kedalaman sedimen pada Lokasi I

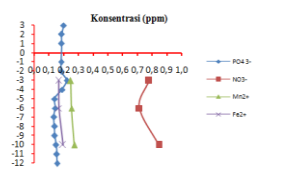
Kedalaman	Titik A				Titik B				Titik C			
	PO_4^{3-} (C _{oor}) (ppm)	NO_3^- (ppm)	Fe^{2+} (ppm)	Mn^{2+} (ppm)	PO_4^{3-} (C _{oor}) (ppm)	NO_3^- (ppm)	Fe^{2+} (ppm)	Mn^{2+} (ppm)	PO_4^{3-} (C _{oor}) (ppm)	NO_3^- (ppm)	Fe^{2+} (ppm)	Mn^{2+} (ppm)
3	0,1598	-	-	-	0,1970	-	-	-	0,2082	-	-	-
2	0,1304	-	-	-	0,1838	-	-	-	0,1802	-	-	-
1	0,1272	-	-	-	0,1832	-	-	-	0,1833	-	-	-
-1	0,0736	-	-	-	0,1811	-	-	-	0,1817	-	-	-
-2	0,0630	-	-	-	0,1817	-	-	-	0,1748	-	-	-
-3	0,0886	0,7222	0,0744	0,3201	0,2185	0,7778	0,1628	0,2450	0,1688	0,6778	0,2186	0,3291
-4	0,0935	-	-	-	0,1872	-	-	-	0,1629	-	-	-
-5	0,0969	-	-	-	0,1353	-	-	-	0,1568	-	-	-
-6	0,0823	0,7778	0,3326	0,4619	0,1406	0,7111	0,1651	0,2508	0,1687	0,7556	0,3186	0,3550
-7	0,1127	-	-	-	0,1306	-	-	-	0,1912	-	-	-
-8	0,1184	-	-	-	0,1356	-	-	-	0,1939	-	-	-
-9	0,1066	-	-	-	0,1379	-	-	-	0,1994	-	-	-
-10	0,1257	0,7889	0,4256	0,4979	0,1473	0,8444	0,1930	0,2693	0,1985	0,7111	0,3930	0,3614
-11	0,1233	-	-	-	0,1505	-	-	-	0,2026	-	-	-
-12	0,1263	-	-	-	0,1533	-	-	-	0,2030	-	-	-

Tabel 2. Konsentrasi PO_4^{3-} , NO_3^- , Fe^{2+} , Mn^{2+} di setiap sentimeter kedalaman sedimen pada Lokasi II

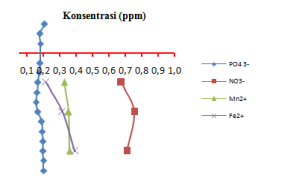
Kedalaman	Titik A				Titik B				Titik C			
	PO_4^{3-} (C _{oor}) (ppm)	NO_3^- (ppm)	Fe^{2+} (ppm)	Mn^{2+} (ppm)	PO_4^{3-} (C _{oor}) (ppm)	NO_3^- (ppm)	Fe^{2+} (ppm)	Mn^{2+} (ppm)	PO_4^{3-} (C _{oor}) (ppm)	NO_3^- (ppm)	Fe^{2+} (ppm)	Mn^{2+} (ppm)
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0,2437	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0,1740	-	-	-	0,2643	-	-	-	-	-	-	-
2	0,1835	-	-	-	0,1479	-	-	-	-	-	-	-
1	0,1927	-	-	-	0,1615	-	-	-	-	-	-	-
-1	0,1204	-	-	-	0,3466	-	-	-	-	-	-	-
-2	0,1554	-	-	-	0,3430	-	-	-	-	-	-	-
-3	0,2205	0,4556	0,1930	0,0370	0,3234	0,4222	0,1860	0,1938	0,2260	0,4111	0,1884	0,18
-4	0,2441	-	-	-	0,3081	-	-	-	-	-	-	-
-5	0,2298	-	-	-	0,3262	-	-	-	-	-	-	-
-6	0,2470	0,4889	0,2023	0,0910	0,2768	0,4111	0,2000	0,1974	0,2603	0,4333	0,2256	0,19
-7	0,2639	-	-	-	0,2795	-	-	-	-	-	-	-
-8	0,2623	-	-	-	0,2800	-	-	-	-	-	-	-
-9	0,2635	-	-	-	0,2893	-	-	-	-	-	-	-
-10	0,2625	0,5444	0,1651	0,2074	0,3224	0,3778	0,2186	0,2599	-	0,3667	0,3326	0,21
-11	0,2644	-	-	-	0,3237	-	-	-	-	-	-	-
-12	-	-	-	-	0,3332	-	-	-	-	-	-	-



Gb.3. Distribusi konsentrasi fosfat, nitrat, Fe^{2+} , Mn^{2+} di tiap kedalaman di lokasi I-A



Gb.4. Distribusi konsentrasi fosfat, nitrat, Fe^{2+} , Mn^{2+} di tiap kedalaman di lokasi I-B



Gb.5. Distribusi konsentrasi fosfat, nitrat, Fe^{2+} , Mn^{2+} di tiap kedalaman di lokasi I-C

Sebaliknya, adanya kecenderungan meningkatnya konsentrasi nitrat di titik B dimungkinkan karena masih ada oksigen terlarut di dalam air sedimen, hal ini diduga telah terjadi perubahan NH_4^+ menjadi nitrat sebagai hasil proses nitrifikasi. Oleh karena itu dengan kehadiran oksigen ini, diasumsikan bahwa konsentrasi NH_4^+ akan menjadi rendah, dan konsentrasi NO_3^- dalam porewater sedimen menjadi meningkat. Konsentrasi Mn^{2+} pada titik A dan C juga meningkat, sedangkan pada titik B ketersediaan Mn^{2+} relatif rendah dan tidak menunjukkan kenaikan yang signifikan.

Pada lokasi II, masuknya fosfat ke dalam badan air terutama berasal dari buangan limbah domestik karena mayoritas lingkungan di sekitar sungai Brantas ini adalah pemukiman penduduk. Limbah dengan kandungan minyak, larutan pembersih,

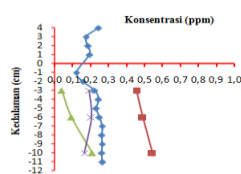
detergen dll, yang masuk ke sungai akan menyebabkan kenaikan konsentrasi fosfat dalam badan air ini. Seperti ditunjukkan pada Gambar 6,7 dan 8, hasil pengukuran di tiga titik sampling pada lokasi II menunjukkan konsentrasi fosfat yang naik turun pada tiap kedalamannya, tetapi menunjukkan pola kecenderungan peningkatan konsentrasi dengan semakin bertambahnya kedalaman sedimen, terutama pada titik B dan C, sedangkan pada titik A kenaikan konsentrasi fosfat tidak begitu signifikan.

Pada lokasi II ini, rentang konsentrasi fosfat yang terukur pada titik A adalah 0,1204-0,2470 ppm, pada titik B 0,1479-0,3466 ppm dan pada titik C 0,1806-0,2603 ppm. Pada titik A, konsentrasi nitrat menunjukkan adanya kenaikan dengan bertambahnya kedalaman sedimen. Adanya peningkatan konsentrasi nitrat di titik A

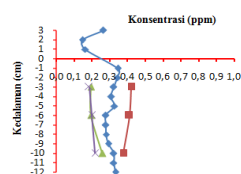


dimungkinkan masih ada oksigen dalam sedimen sehingga hal ini memungkinkan akan terjadi perubahan terhadap NH_4^+ menjadi nitrat sebagai hasil dari proses nitrifikasi, sehingga konsentrasi NO_3^- dalam porewater sedimen menjadi meningkat. Pada titik B dan C, konsentrasi nitrat menunjukkan adanya penurunan. Hal ini disebabkan karena sedikitnya kandungan oksigen dalam sedimen sehingga terjadi reduksi nitrat yang menyebabkan berkurangnya

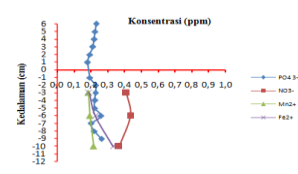
konsentrasi nitrat dalam *porewater* sedimen. Sedangkan untuk konsentrasi Mn^{2+} dan Fe^{2+} , terlihat semakin meningkat dengan bertambahnya kedalaman sedimen. Peningkatan konsentrasi Fe^{2+} dan Mn^{2+} pada titik B dan titik C pada lokasi II ini, juga mengindikasikan bahwa telah terjadi reduksi terhadap Fe^{3+} dan Mn^{4+} yang mungkin disebabkan oleh sedikitnya kandungan oksigen pada sedimen.



Gb.6. Distribusi konsentrasi fosfat, nitrat, Fe^{2+} , Mn^{2+} di tiap kedalaman di lokasi II-A



Gb.7. Distribusi konsentrasi fosfat, nitrat, Fe^{2+} , Mn^{2+} di tiap kedalaman di lokasi II-B



Gb.8. Distribusi konsentrasi fosfat, nitrat, Fe^{2+} , Mn^{2+} di tiap kedalaman di lokasi II-C

Gambaran menyeluruh distribusi fosfat terhadap keberadaan nitrat, Mn^{2+} , dan Fe^{2+} pada kedua lokasi adalah bahwa konsentrasi fosfat dipermukaan perairan sedikit lebih banyak. Hal ini disebabkan karena pada lokasi I ini mayoritas lingkungan di sekitar sungai Brantas ini adalah persawahan dan ladang tanaman menyebabkan limpasan pertanian yaitu hanyutan residu dari pupuk-pupuk tanaman yang masuk ke dalam badan air sehingga menyebabkan kenaikan konsentrasi fosfat, sedangkan di lokasi II ini merupakan pemukiman penduduk, sehingga limbah rumah tangga masuk ke dalam perairan dan akan memperkaya ketersediaan fosfat di perairan tersebut. Kemungkinan lainnya yang bisa menyebabkan terjadinya peningkatan fosfat adalah terlepasnya fosfat dari sedimen perairan karena terjadinya kondisi anoksik dan terjadinya peningkatan respirasi bakteri. Adanya penurunan konsentrasi nitrat mengindikasikan bahwa keberadaan

kandungan oksigen dalam sedimen telah habis terpakai oleh respirasi mikroorganisme, sehingga nitratlah yang digunakan untuk melakukan aktivitas respirasi. Sebaliknya terjadinya kenaikan nitrat diduga karena masih adanya kandungan oksigen dalam sedimen. Dengan beralihnya nitrat sebagai oksidator atau telah habisnya oksigen dalam sedimen tersebut, berarti aktivitas mikroorganisme dalam proses perombakan juga meningkat. Hal ini akan menyumbangkan ketersediaan fosfat dalam sedimen. Disamping itu dengan adanya Mn^{4+} dan Fe^{3+} yang tereduksi akan semakin banyak fosfat ada dalam sedimen. Jadi pada setiap sentimeter kedalaman sedimen, terjadinya penurunan nitrat dan kenaikan Mn^{2+} , Fe^{2+} akan menyebabkan kenaikan fosfat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah bahwa konsentrasi fosfat dalam sedimen pada lokasi I dan lokasi II cenderung meningkat

pada setiap kedalaman sedimen. Baik pada lokasi I maupun II, meningkatnya konsentrasi fosfat pada setiap kedalaman sedimen juga diiringi dengan meningkatnya konsentrasi Fe^{2+} dan Mn^{2+} pada setiap kedalaman sedimen. Sedimen Sungai Brantas Hulu mempunyai peran sebagai penampung dan fosfat yang tertampung mudah dilepaskan kembali tergantung pada kondisi terjadinya reduksi terhadap keberadaan nitrat, Mn^{4+} dan Fe^{3+} .

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya antara lain perlu adanya penelitian lebih lanjut sehubungan dengan penempatan probe DGT secara langsung pada sedimen di lokasi Sungai Brantas Hulu dan perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap konsentrasi nitrat, besi dan mangan pada setiap sentimeter kedalaman sedimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Buffle.J, Horvai.G, *In situ Monitoring of Aquatic Systems*, Vol.6, John Wiley & Sons,LTD
- Chapman.D, *A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*, 2003, Second Edition, London
- Davison.W,Fones.G, Harper. M,Teasdale.P, Zhang.H, *In Situ Diffusional Techniques for Studying Water,Sediment and Soils*, Lancaster University, UK
- Delaune. D.R, Reddy. R.K, 2005, *Redox Potential*, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, USA
- Hillel. D, 2004, *Encyclopedia Of Soil In The Environment*, Colombia University, New York, USA
- Golterman.L.H, 2004, *The Chemistry of Phosphate And Nitrogen Compound In Sediments*, Kluwer Academic Publishers, New York
- Hooda.S.P, Zhang.H, 2008, *DGT Measurement To Predict Metal Bioavailability In Soil*, 2008, Elsevier
- Manahan, E., Stanley, 1994, *Environmental Chemistry*, Six Edition, Lewis Publish, CRC Press.Inc, USA
- Rae.E.J, Jickells.D.T, 1997, *Biogeochemistry of Intertidal Sediments*, Cambridge University Press, New York
- Lansdown.K, 2004, *The role of aquatic sediments in the biogeochemical cycling of nutrients in the Ornamental Lake*, Monash University
- Matthiesen.H, 1998, *Phosphate Release from marine sediment : by diffusion, advection and resuspension*, Aarhus University, Denmark
- Rumhayati.B, 2007, *In situ Measurement of Phosphorus species in Overlying and Sediment Pore Water using The $\text{La}(\text{OH})_3$ Diffusive Gradient In Thin Films*, Monash University, Australia
- Smith.G.L, 2009, *Missyquoi Bay Sediment Phosphorus Cycling*, Vermont University.
- Zhang.H, Davison.W, Gadi.R, and Kobayasi.T,1998, *In Situ Measurementof Dissolve Phosphorus in Natural Water Using DGT*, Elsevier

