

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI (M)**



**KAJIAN GEOKIMIA SEDIMEN PERAIRAN SEBAGAI INDIKATOR
KUALITAS EKOSISTEM PERAIRAN TERDAMPAK KEGIATAN
AGROFORESTRY DI SUB DAS SUMBER BRANTAS, BATU**

Tahun ke-1 dari rencana 2 tahun

Dr. Barlah Rumhayati, M.Si (NIDN: 0029047402)
Dr. rer.nat. Rachmat Triandi T., M.Si (NIDN: 0017077202)
Hari Siswoyo, S.T., M.T (NIDN: 0012127503)

Dibiayai oleh :
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi,
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Melalui DIPA Universitas Brawijaya
Nomor : DIPA-023.04.2.414989/2013, Tanggal 5 Desember 2012, dan berdasarkan
SK Rektor Universitas Brawijaya Nomor : 295/SK/2013 tanggal 12 Juni 2013

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Agustus 2013**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Kajian Geokimia Fosfor dan Nitrogen dalam Sedimen Perairan Sebagai Indikator Kualitas Ekosistem Perairan Terdampak Kegiatan Agroforestry di Sub DAS Sumber Brantas, Batu

Peneliti Pelaksana
Nama Lengkap : Dr. BARLAH RUMHAYATI S.Si., M.Si
NIDN : a029047402
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Kimia
Nomor HP : 085645145612
Alamat surel (e-mail) : rumhayati.barlah@irb.ub.ac.id

Anggota Peneliti (1)
Nama Lengkap : Dr. rer. nat RACHMAT TRIANDI TJAHJANTO S.Si., M.Si
NIDN : a017077202
Perguruan Tinggi : UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Anggota Peneliti (2)
Nama Lengkap : HARI SISWOYO S.T., M.T
NIDN : a0nt27503
Perguruan Tinggi : UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Institusi Mitra (jika ada) :
Nama Institusi Mitra :
Alamat :
Penanggung Jawab :
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke-2 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp.91.653.000,-
Biaya Keseluruhan : Rp. 182.653.000,-



Mengetahui
Dekan MIPA

(Prof. Dr. Mariono M.Phil)
NIP/NIK 196211161988031004

Malang, 25 -11-2013
Ketua Peneliti

(Dr. BARLAH RUMHAYATI S.Si., M.Si)
NIP/NIK 197404292000032001

Menyetujui,
Ketua LPPM UB

"ff;y#

... r ttiq...
4!:" " -p.1
(Prof. Dr. Ir. Siti Chuzaemi, MS)
NIP/NIK 195305141980022001

ABSTRAK

KAJIAN GEOKIMIA SEDIMEN PERAIRAN SEBAGAI INDIKATOR KUALITAS EKOSISTEM PERAIRAN TERDAMPAK KEGIATAN AGROFORESTRY DI SUB DAS SUMBER BRANTAS, BATU

Pada tahun pertama penelitian telah dilakukan kajian geokimia sedimen dalam menentukan kualitas ekosistem perairan Sub DAS Sumber Brantas terdampak kegiatan agroforestry di wilayah Batu, Jawa Timur. Tujuan dari penelitian adalah menentukan kondisi hidrologi DAS, menentukan kualitas dan peran sedimen perairan DAS, dan menentukan kualitas perairan DAS. Sampling telah dilakukan di outlet DAS Sumber Brantas pada bulan Juli hingga September 2013. Kondisi hidrologi DAS dianalisis untuk menentukan debit sedimentasi dengan adanya curah hujan selama penelitian dan penggunaan lahan DAS. Analisis parameter fisika dan kimia sedimen dilakukan untuk menentukan peran sedimen. Analisa parameter fisika dan kimia badan air dilakukan untuk menentukan kualitas perairan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama penelitian tidak terjadi hujan dengan intensitas yang besar. Hujan hanya terjadi pada beberapa kali pengambilan sampel pada bulan Juli dengan intensitas kecil. Penggunaan lahan DAS sebagian besar adalah hutan. Hanya sekitar 12% lahan DAS dimanfaatkan sebagai ladang dengan sistem agroforestry. Berdasarkan hal ini maka debit sedimentasi selama penelitian adalah sangat kecil yaitu $0,21 \times 10^{-9}$ ton/hari. Dari analisis sedimen disimpulkan bahwa sedimen perairan DAS bersifat anoksik sehingga memiliki kapasitas penyimpanan P yang besar, utamanya dalam bentuk fraksi NaOH-P. Disamping itu, sedimen perairan DAS Sumber Brantas memiliki peran sebagai sumber senyawa N. Namun keberadaan senyawa N (nitrat dan ammonia) di badan air berada dalam kesetimbangan dengan yang berada dalam sedimen. Sementara, kualitas ekosistem perairan sub DAS Sumber Brantas masih sangat baik dimana tidak terjadi pengayaan nutrisi P dan N di badan air yang dapat memicu proses eutrofikasi (pertumbuhan alga tidak terkendali).

Kata kunci: sedimen, Daerah aliran Sungai Brantas, eutrofikasi, agroforestry, nutrisi

ABSTRACT

STUDY OF WATER SEDIMENT GEOCHEMICAL AS AN INDICATORS FOR WATER QUALITY AFFECTED BY AGROFORESTRY ACTIVITIES IN SUMBER BRANTAS WATERSHED, BATU

In the first year of research, study of geochemical of sediment has been conducted for determining the quality of aquatic ecosystems affected by agroforestry activities in Sumber Brantas watershed in Batu, East Java . The aims of the study were to determine the hydrological condition of Sumber Brantas watershed , determine the quality and role of aquatic sediments watershed , and determine the water quality of the watershed. Sampling was conducted in Sumber Brantas watershed outlet in July to September 2013. Hydrological conditions were analyzed to determine sediment load in the presence of rainfall during the study and watershed land use. Analysis of physical and chemical parameters of sediment was carried out to determine the role of sediment. Analysis of physical and chemical parameters of water bodies was done to determine the water quality. The results showed that during the study there was no rain with great intensity. Rain only occurred in a few sampling times in July with small intensity. Watershed land use is mostly forest. Only about 12 % of land used as a crop fields with agroforestry systems. Based on this, the sediment load during the study was very small at 0.21×10^{-9} tons/day. Of sediment analysis could be concluded that the sediments was under anoxic conditions. It had a large storage capacity for phosphorus (P), mainly in the form of NaOH - P fraction. In addition, aquatic sediments Sumber Brantas watershed has a role as a source of N compounds. However, the presence of the N compounds (nitrate and ammonia) in the water body was in equilibrium with that are in the sediment. Meanwhile, the quality of aquatic ecosystems of Brantas watershed was a very good. There was no enrichment of P and N nutrients in body water that can trigger eutrophication process (uncontrolled algae growth) .

RINGKASAN

KAJIAN GEOKIMIA SEDIMEN PERAIRAN SEBAGAI INDIKATOR KUALITAS EKOSISTEM PERAIRAN TERDAMPAK KEGIATAN AGROFORESTRY DI SUB DAS SUMBER BRANTAS, BATU

Kegiatan agroforestry telah dilakukan di wilayah DAS. Sumber Brantas, Batu, Jawa Timur sebagai upaya untuk konservasi DAS Brantas. Kualitas perairan di wilayah agroforestry ditinjau dari ketersediaan nutrisi (senyawaan fosfor dan nitrogen) di badan air. Hal ini dipengaruhi dua faktor yaitu karakteristik hidrologi DAS dan sifat fisiko-geokimia sedimen perairan.

Tujuan penelitian tahun pertama ini adalah untuk menentukan kualitas ekosistem perairan sub DAS Sumber Brantas yang terdampak kegiatan agroforestry. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah menentukan karakteristik hidrologi sub DAS Sumber Brantas, menentukan sifat fisiko-geokimia sedimen perairan sub DAS Sumber Brantas dan pengaruhnya terhadap ketersediaan nutrisi di badan air, serta menentukan kualitas ekosistem perairan sub DAS Sumber Brantas.

Sampling dilakukan pada bulan Juli-September 2013. Sampling air dilakukan di outlet sub DAS Sumber Brantas dengan titik koordinat 7°45'25,9" LS, 112°31'37,3" BT, dengan elevasi +1661 m d.p.l. Sampel air diambil dua kali dalam seminggu. Beberapa parameter fisika dan kimia air telah ditentukan, antara lain suhu, konduktivitas, pH, TDS, konsentrasi *Dissolved Oxygen* (DO), *Chemical Oxygen Demand* (COD), konsentrasi ammonia dan nitrat, konsentrasi *filterable reactive phosphate* (FRP), konsentrasi logam terlarut (Al, Fe, Mn, Ca, dan Mg). Sampel sedimen diambil dari lima titik sampling sekitar outlet DAS Sumber Brantas. Sampel diambil sekali dalam sebulan dengan menggunakan sekop plastik. Parameter fisik dan kimia sedimen yang ditentukan adalah berat isi, berat jenis, porositas, komposisi, tekstur, pH, DO, potensial redoks, C organik, bahan organik, N terlarut dalam air pori (nitrat dan ammonia), P reaktif terlarut dalam air pori, fraksi geokimia P, logam tertukar dan logam total (Al, Fe, Mn, Ca, dan Mg). Kondisi biofisik DAS ditentukan dari morfometri DAS Sumber Brantas, komposisi penggunaan lahan DAS Sumber Brantas, jenis tanah DAS Sumber Brantas, dan kondisi topografi DAS Sumber Brantas. Analisis kejadian curah hujan dilakukan berdasarkan pencatatan dari stasiun hujan terdekat dan diasumsikan mewakili daerah studi yaitu Stasiun Hujan Tinjumoyo (koordinat 7°55'35,08" LS, 112°31'41,79" BT, elevasi + 973 m d.p.l) Kota Batu. Selanjutnya, analisis *runoff* dan laju sedimentasi dilakukan dengan menggunakan Metode Rasional yang dikembangkan oleh U.S. Soil Conservation Service.

Analisa kadar DO dilakukan secara titrimetri dengan metode Wilson, sementara analisa COD dilakukan secara titrimetri dengan metode FAS (*ferro ammonium sulfate*). FRP dianalisis secara spektrofotometri dengan metode *Tin (II) Chloride*. Analisa nitrat dilakukan secara spektrofotometri dengan metode fenol sulfat sementara ammonia dianalisa secara spektrofotometri dengan metode Nessler. Konsentrasi logam tertukar, logam terlarut, dan logam total dilakukan secara spektrofotometri dengan instrument *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa DAS Sumber Brantas yang menjadi obyek penelitian memiliki luas daerah aliran sungai sebesar 1,175 km² dan panjang sungai utama (*main stream*) adalah 2,29 km. Komposisi penggunaan lahan adalah hutan 0,0875 km² (74,47%), ladang 0,146 km² (12,435), dan semak belukar 0,154 km² (13,10%). Jenis tanah yang terdapat di seluruh DAS Sumber Brantas adalah Asosiasi Andosol Kelabu dan Regosol Kelabu. Koefisien limpasan rata-rata sebesar 0,10. Waktu konsentrasi hujan (T_c) adalah 15,72 menit sehingga diperoleh maka intensitas hujan yang lamanya sama dengan T_c (I_{T_c}) sebesar 130,5 mm/jam. Debit sungai (*Peak runoff*, Q) terhitung adalah 4,26 m³/detik sehingga diperoleh debit sedimentasi (Q_s) sebesar 0,21x10⁻⁹ ton/hari.

Dari analisis sedimen perairan dapat disimpulkan bahwa sedimen berkelas pasir dengan porositas sebesar 44,20±6,30%. Sedimen bersifat netral dengan pH 6,0±0,59. Namun, sedimen dalam

kondisi anoksik karena rendahnya nilai potensial redoks ($61,18 \pm 34,1$ mV) dan kadar DO ($0,11 \pm 0,03$ mg/l). Kandungan C organik dan bahan organik juga rendah, masing-masing adalah $0,42 \pm 0,37$ % dan $0,73 \pm 0,64$ %. Besarnya nilai simpangan disebabkan karena heterogenitas sedimen dari setiap titik sampel. Pada kondisi sedimen yang anoksik maka dimungkinkan terjadi denitrifikasi nitrat menjadi ammonia. Namun hal ini hanya teramati pada bulan July. Meskipun dalam kondisi anoksik, konsentrasi nitrat-sedimen lebih tinggi dibandingkan konsentrasi ammonia-sedimen pada bulan Agustus dan September. Hal ini berkebalikan dengan konsentrasi FRP-sedimen dimana konsentrasi FRP-sedimen lebih banyak pada bulan Juli. Hal ini dimungkinkan karena ketika sedimen berinteraksi dengan badan air, akan terjadi difusi nutrien dua arah yaitu dari sedimen ke badan air dan sebaliknya tergantung pada gradient konsentrasi nutrien tersebut. Karena pada bulan Juli terjadi hujan (meskipun dengan intensitas rendah) dimungkinkan terjadi pengenceran sehingga menurunkan konsentrasi nutrien.

Sementara, fraksi P dalam sedimen memiliki urutan $\text{NH}_4\text{Cl-P} < \text{BD-P} < \text{HCl-P} < \text{Residual-P} < \text{NaOH-P}$. Hal ini menunjukkan bahwa P yang dapat tersedia langsung bagi pertumbuhan alga ($\text{NH}_4\text{Cl-P}$) sangat kecil. Demikian pula dengan P yang dapat terdesorpsi dari permukaan hidroksida Fe dan Mn (BD-P) serta P yang dapat lepas karena adanya pelarutan Ca/Mg karbonat (HCl-P). Fraksi P sedimen yang paling besar adalah P yang teradsorpsi pada permukaan oksida Al dan Fe. Fraksi P tersebut dapat lepas jika sedimen dalam kondisi basa (pH tinggi) sehingga oksida Al dan Fe memiliki muatan total negatif.

Konsentrasi logam tertukar dalam sedimen lebih kecil dibandingkan konsentrasi logam total. Rata-rata konsentrasi total Fe dan total Mg lebih besar dibandingkan logam lainnya sementara logam tertukar rata-rata Mg dan Ca yang terbesar. Hal ini selaras dengan keberadaan fraksi P dalam sedimen dimana P dalam sedimen lebih banyak teradsorpsi pada logam Fe dalam bentuk oksida/hidroksidanya, sementara P yang terikat oleh logam Ca dan Mg (HCl-P) berjumlah sedikit karena rendahnya konsentrasi Ca dan Mg total maupun tertukar.

Dari hasil sedimen dapat disimpulkan bahwa sedimen DAS Sumber Brantas memiliki kapasitas penyimpanan yang besar bagi nutrien P utamanya dalam bentuk teradsorpsi pada oksida Fe. Berlawanan dengan P, sedimen DAS Sumber Brantas menjadi sumber N dibadan air.

Namun demikian kualitas ekosistem DAS Sumber Brantas dapat dipertahankan dalam kondisi baik. Dengan kondisinya yang oksik menyebabkan adanya kesetimbangan nitrat-amonia di antarmuka sedimen-badan air sehingga konsentrasi N tidak melimpah. Begitu pula dengan P di badan air tetap dapat terjaga pada konsentrasi rendah karena P yang berdifusi ke sedimen akan teradsorpsi pada oksida Fe. Fraksi P ini akan terlepas kembali ke badan air jika ada perubahan pH baik di badan air maupun sedimen.

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah bahwa kualitas ekosistem perairan DAS Sumber Brantas adalah baik karena kecilnya limpasan erosi dari penggunaan lahan DAS dan besarnya kapasitas sedimen dalam menyimpan nutrien P dan menjaga kesetimbangan nutrien N.

SUMMARY

STUDY OF WATER SEDIMENT GEOCHEMICAL AS AN INDICATOR FOR WATER QUALITY AFFECTED BY AGROFORESTRY ACTIVITIES IN SUMBER BRANTAS WATERSHED, BATU

Agroforestry activities have been conducted in the area of Sumber Brantas watershed, Batu, East Java in an attempt to Brantas watershed conservation. Water quality in the area of agroforestry could be confirmed in terms of the availability of nutrients (phosphorus and nitrogen compounds) in water bodies. It is influenced by two factors: the hydrological characteristics of watershed and physicochemical properties aquatic sediment. The purpose of this first year research was to determine the quality of aquatic ecosystems Sumber Brantas watershed affected by agroforestry activities. The specific objective of this study were to determine the hydrologic characteristics of Sumber Brantas watershed, determine the physico - geochemical properties of the sediment of Sumber Brantas watershed and its influence on the availability of nutrients in the water body, as well as determining the quality of aquatic ecosystems Sumber Brantas watershed.

Sampling was conducted in July-September 2013. Water sampling conducted in the outlet of Sumber Brantas watershed with coordinate position was 7°45'25,9" S, 112°31'37,3" E and the elevation was of +1661 m below sea level. Water samples were taken twice a week. Several physical and chemical parameters have been determined, *i.e.* temperature, conductivity, pH, TDS, the concentration of Dissolved Oxygen (DO), Chemical Oxygen Demand (COD), ammonia and nitrate concentrations, concentrations of filterable reactive phosphate (FRP), the concentration of dissolved metals (Al, Fe, Mn, Ca, and Mg). Sediment samples were taken from five sampling points around Sumber Brantas watershed outlet. Samples were taken once a month using a plastic shovel. Physical and chemical parameters were determined including sediment bulk density, specific gravity, porosity, composition, texture, pH, DO, redox potential, organic C, organic matter, N dissolved in the pore water (nitrate and ammonia), dissolved reactive P ((FRP) in pore water, geochemical fractions P, total metals and exchangeable metals (Al, Fe, Mn, Ca, and Mg). Biophysical conditions of the watershed was determined from Sumber Brantas watershed morphometry, the land use composition of Sumber Brantas watershed, soil type of Sumber Brantas watershed, and watershed topography of Sumber Brantas watershed. Analysis of rainfall events was done by recording from the nearest rainfall station and assumed to represent an area of study that Tinjumoyo Rain Station (coordinate position was 7°55'35,08" S, 112°31'41,79" E, elevation + 973 m below sea level) in Batu. Furthermore, analysis of runoff and sedimentation rate was performed using the Rational Method developed by the U.S. Soil Conservation Service.

DO levels of was analysed by the method of Wilson titrimetric, while the COD analysis was conducted by the titrimetric method of FAS (ferrous ammonium sulfate). FRP was analyzed spectrophotometrically by the method of Tin (II) Chloride. Nitrate analysis performed spectrophotometrically with phenol sulfate method while ammonia was analyzed spectrophotometrically with Nessler method. Concentrations of exchangeable, dissolved, and total metals were carried out by spectrophotometry with Atomic Absorption Spectrometry (AAS).

The results showed that the Sumber Brantas watershed has area of 1,175 km² and the length of the main stream was 2.29km. The composition of land uses were forest 0.0875 km² (74.47 %),

croplands 0.146 km² (12.435) , and bush 0.154 km² (13.10 %) . Soil types found throughout the watershed Sumber Brantas was Andosol Association Regosol Grey and Grey. The average of runoff coefficient was 0.10 . The time of rain concentration (T_c) was 15.72 minutes so the rainfall intensity duration T_c (I_{T_c}) was 130.5 mm / hour . The calculated peak runoff, Q, was 4.26 m³/second so the sediment discharge (Q_s) was 0.21 x10⁻⁹ tonnes / day .

From the analysis of aquatic sediments, it can be concluded that the sediment was sandy with porosity of 44.20 ± 6.30 %. Sediment was neutral with a pH of 6.0 ± 0.59. However, sediments was under anoxic conditions due to low redox potential value (61.18 ± 34.1 mV) and DO levels (0.11 ± 0.03 mg / l) . Organic C content and organic matter content were also low. They were 0.42 ± 0.37 % and 0.73 ± 0.64 %, respectively. The high deviation might be caused by the heterogeneity of sediment from each sample point. Under the anoxic conditions, it is possible denitrification occurs from nitrate to ammonia. However this was only observed in July. Although under anoxic conditions, the concentration of nitrate - sediment was higher than ammonia - sediment concentrations in August and September. This is in contrast to the concentration of FRP-sediment in which the FRP - sediment concentrations were more in July. This is possible because when sediments interact with the body of water , there will be a two -way diffusion of nutrients from sediments to water bodies and vice versa depending on the nutrient concentration gradient. Because there was rain in July (although with low intensity) it made possible dilution resulting in lower nutrient concentrations .

Meanwhile, the fraction of P in the sediments have a sequence of NH₄Cl - P < BD - P < HCl - P < Residual - P < NaOH - P. This shows that the immediately available - p for algae growth (NH₄Cl - P) was very small. Similarly, desorbed P on surface of Fe and Mn hydroxide (BD - P) and P that can be extracted because of the dissolution of the Ca / Mg carbonates (HCl - P) were also low . The higher of sediment P fraction was P adsorbed on the surface of Al and Fe oxides (NaOH-P). This P fraction could be dissolved if the sediment is in alkaline conditions (high pH) so that Al and Fe oxides have a negative net charge.

The concentration of exchangeable metal concentrations in sediments was smaller than the total metal concentration. Average total concentrations of Fe and Mg was greater than any other metal while the average of exchangeable metal Mg and Ca were greatest . This is consistent with the presence of P fractions in sediments where P in sediments more adsorbed on the metal in the form of Fe oxide / hidroksidanya , while P is bound by Ca and Mg metal (HCl - P) were few in number because of the low concentration of Ca and Mg in total and exchangeable .

From the results it can be concluded that the sediment of Sumber Brantas watershed has a large storage capacity for nutrients primarily in the form of P adsorbed on Fe oxides. Opposite to P, Sumber Brantas watershed sediment could be a source of N. However, the quality of Sumber Brantas watershed ecosystem could be maintained in a good condition. The oxic condition of water bodies cause nitrate - ammonia equilibrium in the interface of water - sediment so that the concentration of N is not abundant . Similarly, the P in water bodies can still be maintained at low concentrations due to P that diffuses into the sediment will be adsorbed on Fe oxides. This P fraction will have been released back to the water if there is a change in the pH of both water bodies and sediments.

The conclusion that can be drawn from this research is that the quality of aquatic ecosystems of Sumber Brantas watershed was well due to the small erosion from watershed land and the high sediment capacity for storing P nutrient and keep the equilibrium of N nutrient.

DAFTAR PUSTAKA

B. Allred and C.T. Haan, (1996). SWMHMS-Small Watershed Monthly Hydrologic Modeling System, *Water Resources Bulletin, Journal of the American Water Resources Association*, **32** (3).

Anonymous, (2003), *Kondisi Wilayah Daerah Aliran Sungai Brantas Statistik BP DAS Brantas tahun 2003* BP DAS Brantas,

Anonymous, (2005), *Tinjauan Hidrologi dan Sedimentasi DAS Kali Brantas Hulu*, Perum Jasa Tirta I, Malang.

Anonymous, (2006), *Kondisi Wilayah Daerah Aliran Sungai Brantas Statistik BP DAS Brantas tahun 2006*, BP DAS Brantas,

C. Asdak (2002). **Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai**, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta,

R. DeWit, L.J. Stal, B.A. Lomstein, R.A. Herbert, H.V. Gemerden, P. Viaroli, V.U. Ceccherelli, F. Rodriguez-Valera, M. Bartoli, G. Giordani, R. Azzoni, B. Schaub, D.T. Welsh, A. Donnelly, A. Cifuentes, J. Anton, K. Finster, L.B. Nielsen, A.E.U. Pedersen, A.T. Neubauer, M. Colangelo and S.K. Heijs, (2001). ROBUST: the role of buffering capacities in stabilising coastal lagoon ecosystems, *Continental Shelf Research*, **21**: 2021-2041.

K. Fytianos and A. Kotzakioti, (2005). Sequential Fractionation of Phosphorus in Late Sediments of Northern Greece, *Environ. Monitor. and Assessment*, **100**: 191-200.

H.L. Golterman, (1995). The Labyrinth of Nutrient Cycles and Buffers in Wetlands: Results Based on Research in the Camargue (southern France), *Hydrobiologia* **315**: 211-222.

H.L. Golterman, (2001). Fractionation and bioavailability of phosphate in lacustrine sediments, a review, *Limnetica*, **20** (1): 15-29.

H.L. Golterman, (2001). Phosphate release from anoxic sediments, *Hydrobiologia*, **450**: 99-106.

- B.B. Jørgensen (1996). Material flux in the sediments. In Eutrophication in Coastal Marine Ecosystems Coastal and Estuarine Studies. B. B. Jørgensen and K. Richardson, American Geophysical Union **52**: 115–135.
- D.C. Ribeiro, G. Martins, R. Nogueira, J.V. Cruz and A.G. Brito, (2008). Phosphorus fractionation in volcanic lake sediments (Azores-Portugal), Chemosphere, **70**: 1256-1263.
- K.C. Ruttenger (2004). The Global Phosphorus Cycle. Treatise on Geochemistry. H. D. Holland, K. K. Turekian and W. H. Schlesinger. Amsterdam, Elsevier Pergamon: 585.
- M.A. Sardjono, T. Djogo, H.S. Aifin and N. Wijayanto (2003). **Klasifikasi dan Pola Kombinasi Komponen Agroforestri**, World Agroforestry Centre, Bogor,
- S.L. Simpson, E.B. Graeme, A. Chariton, J.L. Stauber, C.K. King, J.C. Chapman, R.V. Hyne, S.A. Gale, A.C. Roach and W.A. Maher (2005). **Handbook for Sediment Quality Assessment**, CSIRO, Australia,
- I. Subarkah (1980). **Hidrologi untuk perencanaan bangunan air**, Idea Dharma, Bandung,
- P. Viaroli and R. Christian, (2003). Description of Trophic Status of an Eutrophic Coastal Lagoon through Potential Oxygen Production and Consumption: Defining Hyperautotrophy and Dystrophy, Ecological Indicators **3**:237–250.
- B.A. Wicaksono, (2012), Upaya Petani Penyelamat DAS Brantas Untuk Melindungi Sumber Air, *Malang Post*, Malang.