



**PERAN SEDIMEN TERHADAP KETERSEDIAAN FRAKSI FOSFAT
TERLARUT DAN FOSFAT TERTUKAR (*BIOAVAILABLE PHOSPHATE*)
DI PERAIRAN SUB DAS SUMBER BRANTAS**

TESIS

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister



Oleh:

MH CHUSNUDDIN NURROCHMAN

126090200111003

**PROGRAM STUDI KIMIA
MINAT KIMIA LINGKUNGAN**

**PROGRAM PASCASARJANA FAKULTAS MIPA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2015

**LEMBAR PENGESAHAN TESIS****PERAN SEDIMEN TERHADAP KETERSEDIAAN FRAKSI FOSFAT
TERLARUT DAN FOSFAT TERTUKAR (*BIOAVAILABLE PHOSPHATE*)
DI PERAIRAN SUB DAS SUMBER BRANTAS**

Oleh:

MH CHUSNUDDIN NURROCHMAN

126090200111003

Telah dipertahankan di depan Majelis Penguji pada

tanggal 26 Agustus 2015

dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelas Magister Sains dalam
bidang Kimia**KOMISI PEMBIMBING**

Ketua

Anggota

Barlah Rumhayati, S.Si., M.Si., Ph.Da.n. Dr. Atikah, Apt., M.Si

NIP. 19740429 200003 2 001

NIP. 19570208 198601 2 001

Mengetahui,

Program Pascasarjana Fakultas MIPA

Ketua Program Studi S2 Kimia

Dr. Ani Mulyasuryani, MS

NIP. 19630628 199103 2 001



**PERAN SEDIMEN TERHADAP KETERSEDIAAN FRAKSI FOSFAT
TERLARUT DAN FOSFAT TERTUKAR (*BIOAVAILABLE PHOSPHATE*)
DI PERAIRAN SUB DAS SUMBER BRANTAS**

Nama Mahasiswa : MH Chusnuddin Nurrochman

NIM : 126090200111003

Program Studi : S2 Ilmu Kimia

Minat : Kimia Lingkungan

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : Barlah Rumhayati, S.Si., M.Si., Ph.D

Anggota : Dr. Atikah, Apt., M.Si

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Akhmad Sabarudin, S.Si., M.Sc., Dr.Sc

Dosen Penguji 2 : Masruri, S.Si., M.Si., Ph.D

Tanggal ujian : 26 Agustus 2015

SK Penguji : 620/UN10.9/PP/2015



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan (plagiat) tesis, saya bersedia Tesis (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, 26 Agustus 2015

Mahasiswa,

MH Chusnuddin Nurrochman

NIM. 126090200111003



RIWAYAT HIDUP

MH Chusnuddin Nurrochman, lahir di Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah pada tanggal 18 Februari 1987. Anak keempat dari empat bersaudara dari bapak Mufti A Rochman dan ibu Siti Rochowah. Pendidikan sekolah dasar ditempuh di SD Negeri Batur I Banjarnegara dan lulus tahun 1999. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMP Negeri Batur I Banjarnegara dan lulus tahun 2002. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMA Muhammadiyah Wonosobo dan lulus tahun 2005. Pendidikan sarjana S1 ditempuh di Jurusan Kimia, Universitas Negeri Malang dan lulus tahun 2011.

Malang, Agustus 2015

MH Chusnuddin Nurrochman



UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul **“Peran Sedimen terhadap Ketersediaan Fraksi Fosfat Terlarut dan Fosfat Tertukar (*Bioavailable Phosphate*) di Perairan Sub DAS Sumber Brantas”**, sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister Sains dalam bidang Kimia. Keberhasilan penulisan tesis ini tidak lepas dari peran berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Rektor Universitas Brawijaya atas kesempatan kepada penulis untuk menempuh studi S2 Ilmu Kimia di Universitas Brawijaya.
2. Ibu Barlah Rumhayati, S.Si., M.Si., Ph.D selaku pembimbing utama, yang telah memberikan dorongan, kasih sayang, bimbingan, perhatian, dan arahan yang tulus kepada penulis hingga terwujudnya tesis ini. Pendekatan yang berkembang tidak terbatas hanya sebagai pembimbing tetapi juga sebagai orang tua dan teman berdiskusi telah memberi kesan mendalam bagi penulis.
3. Ibu Dr. Atikah, Apt., M.Si selaku anggota pembimbing, yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan dorongan, bimbingan, dan arahan yang tulus kepada penulis dalam memecahkan permasalahan pengolahan data dan penjelasan mengenai kimia lingkungan hingga terwujudnya tesis ini.
4. Bapak Akhmad Sabarudin, S.Si., M.Sc., Dr.Sc dan Bapak Masruri, S.Si., M.Si., Ph.D selaku anggota penguji yang telah meluangkan waktunya memberikan masukan kritis terhadap metode penulisan, dan penyajian data. Bimbingan dan kesempatan berdiskusi yang diberikan telah membuat naskah tesis ini menjadi lebih komunikatif dan bernilai ilmiah.
5. Orangtua penulis, Bapak Mufti A Rochman dan Ibu Siti Rochowah, yang telah memberikan dukungan moral, materi, dan doa kepada penulis.
6. Istri penulis, Ria Andardini, yang selalu memberi dorongan, semangat dan doa tanpa henti kepada penulis.



7. Saudara kandung penulis, Budiono Arief R, Anita W Rachman, dan Effendi Rachman S, yang selalu memberikan dukungan dan doa yang terus mengalir untuk penulis.

8. Rekan kerja di Laboratorium Kimia Lingkungan beserta staf laboran, Sandhika, Wini, Bapak Darwin, yang telah bekerja sama dalam proses pengambilan data, berbagi fasilitas dan ilmu dalam suasana kebersamaan, dan saling memotivasi sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar.

9. Dosen-dosen bidang minat kimia lingkungan yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan wawasan kepada penulis mengenai kimia organik.

10. Rekan-rekan Program Pascasarjana Ilmu Kimia angkatan 2012 yang tidak bisa disebutkan satu persatu atas suasana kebersamaannya.

Semoga Allah SWT memberikan pahala yang berlipat ganda kepada semua pihak yang membantu penulis, baik yang namanya penulis sebutkan maupun tidak sempat disebutkan. Selain itu semoga ilmu yang penulis peroleh dapat bermanfaat bagi penulis, masyarakat, dan ilmu pengetahuan. Amin.

Malang, Agustus 2015

MH Chusnuddin Nurrochman

RINGKASAN

MH Chusnuddin Nurrochman, Program Pascasarjana Universitas Brawijaya, Agustus 2015. Peran Sedimen terhadap Ketersediaan Fraksi Fosfat Terlarut dan Fosfat Tertukar (*Bioavailable Phosphate*) di Perairan Sub DAS Sumber Brantas. Komisi Pembimbing, Ketua: Barlah Rumhayati, S.Si., M.Si., Ph.D, Anggota: Dr. Atikah, Apt., M.Si.

Kata kunci: peran sedimen, fraksi fosfat, Sub DAS Sumber Brantas

Sedimen merupakan materi mineral dan partikulat organik yang tidak bergabung, yang mengendap dan berada di bawah lingkungan akuatik. Sedimen dapat berperan sebagai *sink* (penyimpan) atau *Source* (sumber) senyawa organik ataupun organik. Fosfat merupakan salah satu senyawa yang dapat disimpan atau dihasilkan oleh sedimen. Sedimen yang berperan sebagai *Source* (sumber) senyawa fosfat akan meningkatkan kandungan fosfat di badan air. Fraksi fosfat tertukar dan fosfat terlarut dalam air pori Sedimen (*Bioavailable Phosphate*) merupakan senyawa fosfat yang langsung dapat digunakan oleh mikroorganisme. Meningkatnya *Bioavailable Phosphate* di badan air akan sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan alga, apabila peningkatan ini terus terjadi maka dapat menyebabkan peledakan pertumbuhan alga (eutrofikasi). Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji peran sedimen di perairan Sub DAS Sumber Brantas terhadap fraksi fosfat tertukar dan fosfat terlarut dalam air pori Sedimen (*Bioavailable Phosphate*).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari distribusi fraksi fosfat tertukar dan fosfat terlarut dalam air pori sedimen (*Bioavailable Phosphate*) di perairan Sub DAS Sumber Brantas dan peran sedimen sub DAS Sumber Brantas terhadap ketersediaan fosfat di badan air. Untuk mencapai tujuan tersebut, karakteristik fisika dan kimia sedimen perlu dilakukan. Karakteristik fisika dan kimia yang perlu dilakukan antara lain: kadar air, porositas sedimen, tekstur sedimen, pH, potensial redoks, DO (*dissolved oxygen*), dan bahan organik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar fosfat dalam pori sedimen sebagian besar memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan fraksi fosfat tertukar sedimen. Dari data tersebut fosfat di badan air akan terdeposisi ke dalam pori sedimen melalui proses sedimentasi, adsorpsi dan presipitasi. Berdasarkan hasil penelitian ini, Sedimen di Sub DAS Sumber Brantas berperan sebagai *sink* (Penyimpan). Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya kandungan fraksi fosfat terlarut dan fraksi fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) di sedimen daripada kandungan fosfat reaktif (P-reaktif) Air.



SUMMARY

MH Chusnuddin Nurrochman, Postgraduate Program Brawijaya University, Agustus 2015. Sediment role to availability Fraction Phosphate Dissolved and Swapped (*bioavailable Phosphate*) at the Aquatic DAS Sumber Brantas. Supervisor: Barlah Rumhayati, S.Si., M.Si., Ph.D., Co-supervisor: Dr. Atikah, Apt., M.Si.

Keywords: the role of sediment, fractionation of sediment, Sub DAS Sumber Brantas

Sediment is mineral matter and particulate organic does not join, that settles and is under the aquatic environment. Sediment can act as sinks (storage) or Source (source) organic compound or organic. Phosphate is one of the compounds that can be saved or generated by sediment. Sediments act as the Source (Source) phosphate compounds will increase the phosphate content in the water body. Fraction exchanged phosphate and phosphate dissolved in sediment pore water (bioavailable phosphate) is a phosphate compound that is directly usable by microorganisms. Increased bioavailable phosphate in the body of water will greatly affect the growth of algae, if this increase continues, it can lead to explosions of algae growth (eutrophication). Therefore, this study examines the role of sediment in the waters of the subzone Sumber Brantas fraction exchanged phosphate and phosphate dissolved in sediment pore water (bioavailable phosphate).

The purpose of this research is to study the distribution of phosphate exchanged fractions and phosphate dissolved in sediment pore water (bioavailable phosphate) in the waters of the subzone Sumber Brantas and the role of sub-watershed sediment Sumber Brantas to the availability of phosphate in the water body. To achieve these objectives, the physical and chemical characteristics of the sediment needs to be done. Physical and chemical characteristics that need to be done include: water content, porosity sediments, sediment texture, pH, redox potential, DO (dissolved oxygen), and organic materials.

The results showed that the levels of phosphate in sediment pore most have a smaller value than the fraction of sedimentary phosphate confused. From these data the phosphate in the water body will be deposited into the sediment pore through sedimentation, adsorption and precipitation. Based on these results, Sediment in subzone Sumber Brantas act as sinks (Depositary). This is indicated by the amount of dissolved phosphate content of fractions and fractions phosphate swapped (bioavailable phosphate) in the sediment rather than reactive phosphorus content (P-reactive) water.



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan kasih sayang, rahmat, bimbingan, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul **“Peran Sedimen terhadap Ketersediaan Fraksi Fosfat Terlarut dan Fosfat Tertukar (*Bioavailable Phosphate*) di Perairan Sub DAS Sumber Brantas”**, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains dalam bidang Kimia di Universitas Brawijaya.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari distribusi fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) dan peran sedimen sub DAS Sumber Brantas terhadap ketersediaan fosfat terlarut dan fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) di perairan Sub DAS Sumber Brantas. Tesis ini tersusun melalui berbagai tahapan penelitian dengan segala kendala dan kesulitannya. Semua tahapan tersebut telah terlewati dengan bantuan dan peran banyak pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya dengan segala keterbatasan dan pengetahuan penulis, maka penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Dengan kerendahan hati penulis mengharapkan semoga tesis ini dapat memberikan sumbangan yang bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Malang, Agustus 2015

MH Chusnuddin Nurrochman



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	ii
IDENTITAS TIM PENGUJI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS	iv
RIWAYAT HIDUP	v
UCAPAN TERIMAKASIH	vi
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sub DAS Sumber Brantas.....	6
2.2 Sedimen.....	8
2.3 Fosfat.....	13
2.3.1 Sumber Fosfat dalam Sedimen.....	14



2.3.2 Bentuk Fosfat dalam Sedimen 17

2.3.3 Interaksi Fosfat Diantara Muka Sedimen-Badan Air.... 18

2.4 Metode Analisis Kuantitatif Fosfat..... 22

BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN..... 25

3.1 Kerangka Konseptual Penelitian..... 25

3.2 Kerangka Operasional Penelitian..... 28

BAB IV METODE PENELITIAN 29

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian..... 29

4.2 Bahan dan Alat..... 29

4.2.1 Bahan Penelitian 29

4.2.2 Alat Penelitian..... 29

4.3 Tahapan Penelitian..... 30

4.4 Prosedur Penelitian 30

4.4.1 Penentuan Titik Sampling Sedimen..... 30

4.4.2 Pengambilan Sampel..... 31

4.4.3 Penyimpanan Sampel Sedimen..... 32

4.4.4 Preparasi Sampel Sedimen..... 32

4.4.5 Preparasi Reagen Fosfat..... 32

4.4.5.1 Pembuatan Reagen Ammonium Molibdat..... 32

4.4.5.2 Pembuatan Reagen SnCl_2 33

4.4.6 Preparasi Larutan Standar Fosfat..... 33

4.4.6.1 Pembuatan Larutan Induk Fosfat (PO_4^{3-})
1000 ppm..... 32

4.4.6.2 Pembuatan Larutan Standar Fosfat (PO_4^{3-})..... 33

4.4.7 Pembuatan Kurva Baku Fosfat..... 33

4.4.8 Analisis Sampel Sedimen..... 34

4.4.8.1 Penentuan pH..... 34

4.4.8.2 Penentuan Potensial Redoks..... 34

4.4.8.3 Penentuan Porositas..... 34

4.4.8.4 Penentuan Tekstur..... 35



4.4.8.5 Penentuan Kadar Air.....	36
4.4.8.3 Penentuan Bahan Organik.....	36
4.4.8.7 Penentuan Fraksi Fosfat Terlarut	36
4.4.8.8 Penentuan Fraksi Fosfat Tertukar.....	37
4.4.8.9 Penentuan Kadar Fosfat.....	37

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN..... 38

5.1 Distribusi Fraksi Fosfat Terlarut dan Fosfat Tertukar dalam Sedimen.....	38
5.2 Peran Sedimen Sub DAS Sumber Brantas	49

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN..... 52

6.1 Kesimpulan.....	52
6.2 Saran.....	52

DAFTAR PUSTAKA..... 53

LAMPIRAN..... 57



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis dan Ukuran Sedimen yang Masuk ke Perairan	8
Tabel 2.2	Parameter Ffisika dan Kimia Sedimen.....	10
Tabel 2.3	Kelas Porositas Sedimen	20
Tabel 4.1	Volume Pipet, Kedalaman, dan Waktu Pemipetan.....	36
Tabel 5.1	Tekstur Sedimen.....	40



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta DAS Brantas hulu	6
Gambar 2.2	Segitiga Tekstur	9
Gambar 2.3	Siklus Fosfat secara Global	15
Gambar 2.4	Struktur Senyawa Kompleks	17
Gambar 2.5	Keseimbangan Spesi P terhadap Fungsi pH	18
Gambar 3.1	Kerangka Konseptual Penelitian	27
Gambar 3.2	Kerangka Operasional Penelitian	28
Gambar 4.1	Titik Pengambilan Sampel	31
Gambar 4.2	Lokasi Pengambilan Sampel	31
Gambar 5.1	Kandungan Fraksi Fosfat Terlarut dan Fosfat Tertukar (<i>bioavailable Phosphate</i>) sedimen	39
Gambar 5.2	Hubungan Fosfat Sedimen dengan Kadar Air	40
Gambar 5.3	Hubungan Fosfat Sedimen dengan Porositas	41
Gambar 5.4	Hubungan Fosfat Sedimen dengan Derajat Keasaman (pH)	41
Gambar 5.5	Hubungan Fosfat Sedimen dengan Potensial Redoks (eh)	41
Gambar 5.6	Hubungan Fosfat Sedimen dengan Oksigen Terlarut	42
Gambar 5.7	Hubungan Fosfat Sedimen dengan Bahan Organik	42
Gambar 5.8	Hubungan Fosfat Sedimen dengan Fosfat Badan Air	51



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Penelitian	95
Lampiran 2 Perhitungan	96
Lampiran 3 Dokumentasi Kegiatan	99



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

DAS Sumber Brantas merupakan DAS yang strategis yang airnya digunakan untuk irigasi, PDAM, pembangkit listrik, industri dan lain-lain. DAS Sumber Brantas memiliki luas 12,00 km² dengan panjang 320 km. Salah satu dari Sub DAS Sumber Brantas adalah Sub DAS Sumber Brantas Hulu, yang terdiri dari Sub DAS Ambang, Sub DAS Melamon, dan Sub DAS Lesti. Sub-sub DAS Sumber Brantas merupakan bagian dari Sub DAS Ambang yang memiliki luas 42,81%. Area di Sub DAS Sumber Brantas sebagian besar dikelilingi hutan (23%, 42,41 km²). Sejak tahun 1980 sampai 2005, 33% luas area hutan ini telah beralih fungsi menjadi kebun sayuran, bahkan banyak terjadi kerusakan akibat *illegal logging* (Anonymous, 2005) dan lahannya digunakan untuk pertanian. Perubahan alih fungsi hutan ini mengakibatkan terjadinya erosi di sekitar Sub DAS Sumber Brantas, yang mengakibatkan menurunnya kualitas air di outlet Sub DAS Sumber Brantas, dan timbulnya endapan sedimen di sungai. Menurunnya kualitas air salah satunya dapat disebabkan oleh ketersediaan fosfat dalam perairan.

Sedimen suatu perairan dapat berfungsi sebagai *sink* (penyimpan) atau *source* (sumber) nutrient seperti fosfat (Golterman, 1995). Dari fungsi ini, sedimen yang berfungsi sebagai *source* apabila berinteraksi dengan badan air, maka nutrisi mudah terdistribusi ke dalam air dan masuk ke dalam badan air, sehingga dapat mempengaruhi kualitas perairan. Sementara, apabila sedimen berfungsi sebagai *sink*,



ketika badan air mengandung nutrien dengan konsentrasi berlebih, nutrien akan terikat atau teradsorpsi dalam sedimen. Fosfat yang ada dalam sedimen berdifusi ke badan air, maka kandungan fosfat di badan air akan meningkat yang dapat menyebabkan peristiwa peledakan pertumbuhan alga (*eutrofikasi*). Keadaan ini dapat mengubah fungsi guna dari Sub DAS Sumber brantas.

Fosfat dalam sedimen terdapat dalam beberapa fraksi, yaitu $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ (fraksi fosfat tertukar), Fe-P, Al-P, HCl-P, dan Residual-P (Ribeiro, dkk., 2002). Selain itu terdapat fosfat terlarut dalam air pori sedimen. Dari fraksi tersebut, fraksi fosfat yang mudah berpindah ke badan air sehingga tersedia langsung bagi pertumbuhan alga (*bioavailable phosphate/ immediately available phosphate: bio-P*) adalah fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar dalam air pori sedimen. Oleh karena itu, kandungan kedua fraksi fosfat tersebut dalam sedimen perairan akan sangat berpengaruh terhadap kualitas air di badan air. Fraksi fosfat tertukar dan fosfat terlarut dalam air pori sedimen sangat bergantung pada kondisi lingkungan dan sedimen seperti pH, potensial redoks, DO (*dissolved oxygen*), dan bahan organik, selain itu juga dipengaruhi oleh sedimen itu sendiri seperti tekstur sedimen. Oleh karena itu, dalam menganalisis *bio-P* (fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar dalam air pori sedimen) perlu melakukan analisis kimia dan fisika sedimen dan badan air dari suatu perairan.

Proses eutrofikasi dapat dihindari dengan mengurangi konsentrasi fosfat di badan air. Meskipun demikian, proses eutrofikasi masih dapat terjadi karena adanya mobilitas fosfat dari sedimen melalui proses fisika, kimia dan biokimia akibat interaksi sedimen dengan badan air (Bostrom, dkk., 1988). Fosfat dalam sedimen dapat berdifusi ke badan air yang akan meningkatkan kadar fosfat di perairan, begitu



pula badan air, apabila kandungan fosfat di badan air berlebih, fosfat akan kembali terdeposisi ke dalam pori sedimen melalui proses sedimentasi, adsorpsi dan presipitasi (Carignan, 1982). Dengan demikian, pentingnya peran sedimen terhadap proses eutrofikasi karena sedimen pada suatu perairan dapat bertindak sebagai sumber dan sekaligus penyimpanan fosfat. Peran tersebut yang mendasari penelitian ini untuk melakukan analisa terhadap sedimen dalam memonitor proses eutrofikasi di badan air dengan mengukur konsentrasi fosfat terlarut dalam air pori dan fosfat tertukar (P-tertukar).

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) dalam sedimen, sehingga dapat diketahui peranan sedimen Sub DAS Sumber Brantas dalam menjaga kualitas perairannya. Karakteristik fisika dan kimia sedimen serta badan air akan diamati untuk mendukung data, meliputi porositas, tekstur sedimen, pH, potensial redoks, DO (*dissolved oxygen*), dan bahan organik.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dalam penelitian ini permasalahan yang akan dikaji sebagai berikut:

1. Bagaimana distribusi fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) dalam sedimen perairan Sub DAS Sumber Brantas?
2. Bagaimana peran sedimen Sub DAS Sumber Brantas terhadap ketersediaan fosfat di badan air?



1.3 Batasan Masalah

1. Fraksi fosfat sedimen yang dianalisis dalam penelitian ini adalah fraksi fosfat tertukar ($\text{NH}_4\text{Cl-P}$). Prosedur penentuan fraksi fosfat tertukar mengacu penelitian Meis (2012).
2. Dalam penentuan fosfat terlarut dalam air pori sedimen dan fraksi fosfat tertukar dilakukan pada pH netral.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan maka dapat dirumuskan beberapa tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui distribusi fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) dalam sedimen perairan Sub DAS Sumber Brantas.
2. Mengetahui peran sedimen Sub DAS Sumber Brantas terhadap ketersediaan fosfat di badan air.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat bagi masyarakat terutama yang menggunakan air Sub DAS Sumber brantas.
2. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat berupa informasi distribusi fraksi fosfat tertukar dan fosfat terlarut dalam air pori sedimen di perairan Sub DAS Sumber Brantas.



3. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan informasi peran sedimen Sub DAS Sumber Brantas dalam menjaga kualitas badan air terutama dalam kandungan fosfat.

4. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan referensi untuk pengembangan kajian ilmiah bagi penelitian selanjutnya.



Sub DAS Sumber Brantas merupakan salah satu dari Sub DAS Brantas yang memiliki luas yang sangat besar dibandingkan Sub DAS yang lain, sehingga kualitas Sub DAS Sumber Brantas sangat berperan penting dalam kualitas air DAS Brantas.

Sub DAS Sumber Brantas terletak di Kabupaten Malang yang berdekatan dengan Kota Batu. Tata guna lahan di sekitar Sub DAS Sumber Brantas sebagian besar digunakan untuk lahan pertanian, lahan hutan dan pemukiman. Berdasarkan data dari statistik BP DAS tahun 2007, jumlah penduduk yang berada di Sub DAS Sumber Brantas adalah 49.703 jiwa, sedangkan luas lahan kritis di luar kawasan hutan di wilayah pengelolaan DAS Brantas di Kota Batu dan Kabupaten Malang sebesar 1.899 ha dan 36.651 ha (Anonymous, 2006).

Tata guna lahan di sekitar Sub DAS Sumber brantas dalam kurun waktu 4 tahun mengalami penurunan luas hutan sebesar 6 % dari tahun 2003 sampai tahun 2007. Peningkatan secara signifikan pada lahan pemukiman 9% dari 29,18 km² menjadi 31,81 km² dan perkebunan sebesar 7% dari 13,80 km² menjadi 14,82 km² (Suyono, 2012). Perubahan tata guna lahan di sekitar Sub DAS Sumber Brantas dapat mempengaruhi kualitas air. Salah satunya yang mempengaruhi kualitas air adalah ketersediaan bahan-bahan organik seperti amoniak, nitrat dan fosfat.

Proses sedimentasi dapat berasal dari pelapukan batuan dan sisa-sisa mikroorganisme. Proses tersebut dapat berlangsung di badan air ataupun dari sekitar badan air yang terbawa air, sehingga masuk ke perairan kemudian akan mengendap akibat adanya gravitasi. Sedimen dapat membawa unsur-unsur kimia yang mengakibatkan perubahan kandungan senyawa kimia di perairan, salah satunya



adalah fosfat. Fosfat yang terbawa oleh sedimen dapat meningkatkan kadar fosfat di badan air. Peningkatan fosfat di perairan dapat menyebabkan *eutrofikasi*.

2.2 Sedimen

Sedimen merupakan materi mineral dan partikulat organik yang tidak bergabung, yang mengendap dan berada di bawah lingkungan akuatik. Sedimen memiliki ukuran partikel yang berbeda-beda. Menurut Stewart (1989) berdasarkan ukuran partikel penyusun tanah, sedimen dibedakan menjadi 4, yaitu Kerikil, pasir, debu, dan liat. Jenis dan ukuran sedimen yang masuk ke perairan dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Jenis dan ukuran sedimen yang masuk ke perairan

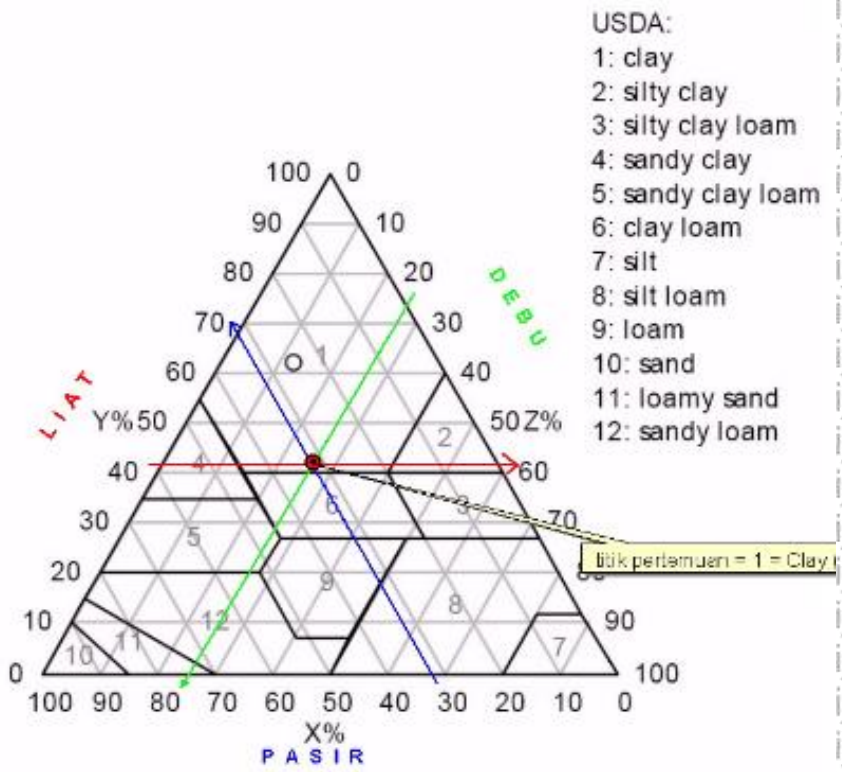
Jenis Sedimen	Ukuran Partikel (mm)
Kerikil	> 2
Pasir	0,02-2
Debu	0,002-0,02
Liat	<0,002

Sumber: (Stewart, 1989)

Mineral yang terkandung dalam sedimen berperan penting dalam lepas atau masuknya fosfat ke sedimen (Golterman, 2004). Komposisi mineral dalam sedimen antara lain adalah SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O (Golterman, 2004). senyawa fosfat Fraksi liat (*clay*) disusum dari mineral liat, substansi humat, oksida Al dan Fe. Mineral liat terdiri dari kristalin hidroksisilikat dan mengandung sejumlah kecil Al, Fe, Mg dan kation lain. Mineral liat tersebut adalah *kaolinite*, *montmorillonite*, dll. Mineral yang terdapat dalam fraksi pasir diantaranya *rutil* (TiO_2) berwarna hitam kemerah merahan, *magnetite* (Fe_3O_4), *ilmerit*



(FeTiO₂) berwarna kehitama-hitaman dengan kadar TiO₂ antara 45% hingga 65%, *goethite* (aFeOOH) (Irayani, dkk., 2007). Tekstur sedimen dapat ditentukan dengan menggunakan segitiga tekstur yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Tekstur sedimen dapat dilihat pada titik pertemuan garis dari prosentase ketiga bahan penyusun sedimen tersebut.



Gambar 2.2. Segitiga Tekstur

Sedimen diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu *lythogenous*, *biogenous*, dan *hydrogenous*. *Lythogenous* adalah sedimen yang berasal dari batuan, umumnya berupa mineral silikat yang berasal dari pelapukan batuan. *Biogenous*



adalah sedimen yang berasal dari organisme berupa sisa- sisa tulang, gigi atau cangkang organisme. *Hydrogenous* adalah sedimen yang terbentuk karena reaksi kimia (Sarjono, 2009). Dalam lapisan permukaan inter-sedimen, pada umumnya merupakan kondisi aerobik dan lapisan yang lebih rendah adalah anaerobik karena kehabisan oksigen oleh mikroorganisme. Lapisan yang lebih dalam, merupakan tereduksi sangat kuat dan spesies akan hadir dalam bentuk tereduksi. Substansi toksik dapat terakumulasi dalam sedimen. Sebagai contoh, senyawa organik dengan kelarutan kecil dan massa molekul besar akan teradsorpsi ke dalam sedimen dan akan dikonsumsi oleh organisme (seperti kerang, ikan) yang menjadi makanan dalam dasar badan air. Dengan demikian dapat menjadi potensi berbahaya kepada manusia jika organisme tersebut digunakan sebagai makanan.

Tabel 2.2 Parameter fisika dan kimia sedimen

Parameter Fisika	Parameter Kimia
Tekstur (% liat, berpasir, debu)	pH
Kandungan air	Bahan organik (C organik, asam humat, asam fulvat)
Densitas	Kapasitas tukar kation
	Potensial redoks
	Oksigen terlarut
	Fraksi logam berat
	- ELFE (<i>Easily Leachable and Freely Exchangeable</i>)
	- AR (<i>Acid Reduction</i>)
	- OO (<i>Organik Oxidation</i>)
	- RF (<i>Resistant Fraction</i>)



Porositas Fosfat, Nitrat, Nitrit, Sulfat, Mangan, Besi,
Sulfida

Sumber: Radojevic, dkk. (2006)

Sifat-sifat Fisika dan kimia sedimen akan sangat berpengaruh dalam distribusi senyawa kimia ke badan air, sehingga sifat fisika dan kimia pada sedimen perlu diketahui agar dapat mengetahui senyawa yang terdistribusi ke badan air. Parameter fisika dan kimia sedimen dapat dilihat pada Table 2.2.

Sifat fisika sedimen memiliki pengaruh berbeda terhadap difusi senyawa kimia ke badan air. Tekstur dan ukuran partikel sedimen yang meliputi pasir, liat dan debu dapat mempengaruhi kandungan material organik di dalam sedimen. Distribusi logam berat pada sedimen juga dipengaruhi oleh ukuran partikel sedimen, karena ukuran partikel mempunyai hubungan dengan kandungan bahan organik sedimen.

Sedimen dengan ukuran partikel halus memiliki kandungan bahan organik yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan yang berukuran kasar. Kandungan air di sedimen memiliki peranan penting dalam sistem sedimen. Berat jenis partikel (*particle density*) dari suatu sedimen menunjukkan kerapatan dari partikel padat sedimen. Berat jenis padatan sedimen didefinisikan sebagai perbandingan antara massa padatan (M_p) dengan volume padatan (V_p) dari suatu sedimen. Jika sedimen mengandung banyak mineral maka sedimen akan memiliki densitas yang tinggi. Porositas merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya pori pada sedimen. Porositas ini sangat dipengaruhi oleh berat isi dan berat jenis dari sedimen. Porositas sedimen erat kaitannya dengan tingkat kepadatan sedimen (*Bulk Density*). Semakin padat sedimen berarti semakin sulit untuk menyerap air, maka porositas sedimen semakin kecil.



Sebaliknya semakin mudah sedimen menyerap air maka sedimen tersebut memiliki porositas yang besar.

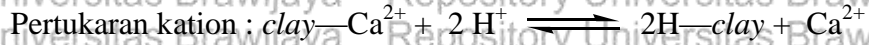
Sifat kimia sedimen juga akan berperan dalam distribusi senyawa kimia ke badan air. pH merupakan suatu indikator keasaman dan kebasaan yang menunjukkan karakteristik sedimen. Pada pH yang tinggi yaitu 10,5 dapat ditemukan dalam *Calcareous* (batuan kapur), *Dolomite*.

Bahan organik dalam sedimen merupakan turunan fraksi organik dari organisme hidup, dekomposisi, dan sebagian terdekomposisi sisa tumbuhan dan hewan. Sebagai hasil dari dekomposisi, nutrisi inorganik (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, dan Mn) dilepaskan ke dalam dasar sedimen dan akan terbentuk humus yang dapat meningkatkan kapasitas tukar kation. Bahan organik merupakan sumber energi utama dan makanan untuk mikroorganisme dalam sedimen. Bahan organik merupakan akumulasi dari sisa-sisa tanaman dan hewan yang mengalami perubahan bentuk karena dipengaruhi faktor biologi, kimia, dan fisika serta sebagian merupakan bahan yang resisten (Radojevic, dkk., 2006). Banyak sedikitnya bahan organik dalam sedimen mempengaruhi sifat-sifat sedimen seperti daya penahanan air, kapasitas serapan kation, kapasitas penyediaan unsur-unsur N, P dan S, stabilitas struktur dan aerasi sedimen.

Sedimen merupakan partikel-partikel yang bermuatan negatif sehingga dapat mengikat kation-kation melalui interaksi elektrostatis yang lemah. Kapasitas sedimen dalam mengikat dan melepaskan kation-kation dinamakan kapasitas tukar kation (*cation exchange capacity*). Oleh sebab itu, sedimen memiliki kemampuan mengikat



kation-kation seperti Ca(II), Mg(II), K(I), Na(I), H(I), Al(III), Fe(II), Mn(II), Zn(II), dan Cu(II).



Jumlah ion logam yang terikat pada sedimen dipengaruhi oleh nilai kapasitas tukar kation. Semakin tinggi kapasitas tukar kationnya, maka semakin banyak ion logam yang terikat pada sedimen. Terikatnya ion-ion tersebut dalam sedimen akan mempengaruhi pH sedimen. Menurut Astera (2007), semakin banyak ion H⁺ yang terikat pada sedimen, maka pH sedimen akan semakin asam. Sebaliknya, semakin banyak kation seperti K⁺, Ca²⁺ dan Mg²⁺ akan menyebabkan pH sedimen semakin basa. Nilai kapasitas tukar kation berhubungan dengan banyaknya muatan negatif dalam sedimen berupa lempung dan C-organik (*organic matter*). Semakin tinggi jumlah C-organik sebagai penyumbang muatan negatif, maka semakin tinggi kemampuan sedimen dalam mengikat kation (Ketterings, dkk., 2007). Kapasitas sedimen dalam menukarkan kation dipengaruhi oleh material bermuatan negatif yang terkandung dalam sedimen tersebut, yaitu mineral dan material organik.

2.3 Fosfat.

Fosfat merupakan nutrisi yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan organisme, karena mengandung unsur P. Hal itu menunjukkan peran pentingnya fosfat, akan tetapi dapat dianggap sebagai polutan apabila konsentrasinya terlalu tinggi. Peningkatan senyawa fosfat dalam perairan merupakan salah satu masalah lingkungan yang sangat penting, karena peningkatan senyawa fosfat dalam perairan dapat menyebabkan proses *eutrofikasi* (*alga blooming*) (Correll, 1998). Masuknya



fosfat ke badan air salah satu penyebabnya proses sedimentasi. Fosfat yang terlepas dari biomassa secara cepat membentuk senyawa kompleks dengan oksida besi dan alumunium atau diserap oleh *clay* (Berner, dkk., 1996).

Perubahan materi geologi merupakan sumber paling utama keberadaan fosfor di biosfer. Akan tetapi, jumlah fosfat yang terlepas jumlahnya kecil daripada yang dibutuhkan. Defisiensi tersebut menjadikan fosfat sebagai nutrisi yang hemat dan mengalami siklus yang cepat di biosfer (Fillipelli, dkk., 1999; Berner, dkk., 1996).

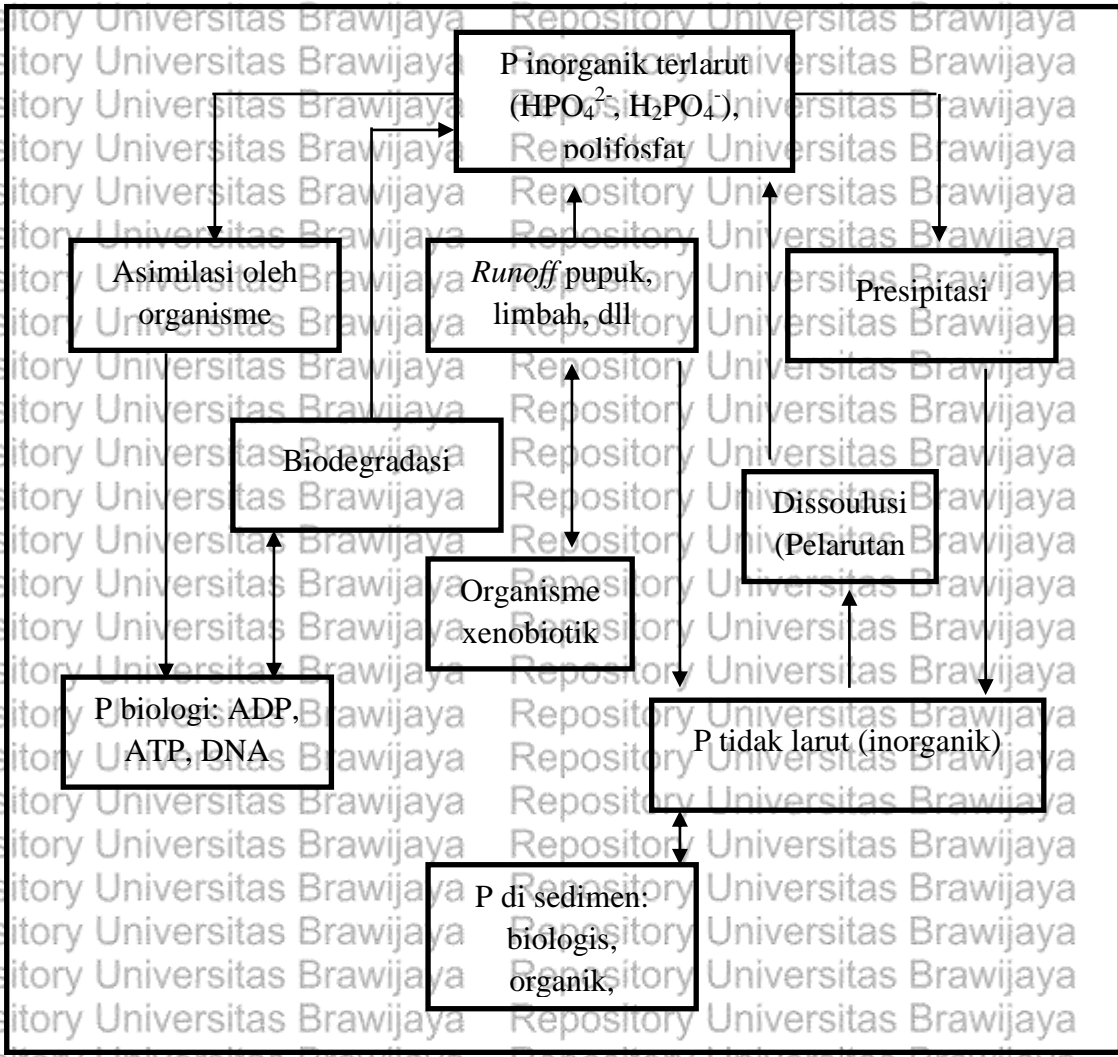
Fraksi geokimia senyawa fosfat dalam sedimen dapat ditentukan melalui ekstraksi berkelanjutan. Fraksi – fraksi tersebut adalah fraksi $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ (fraksi P labil, yaitu fraksi P yang mudah tertukar); BD-P (*buffered dithionite phosphate*/ fraksi P yang rentan terhadap perubahan redoks, yaitu P yang teradsorpsi pada permukaan hidroksida logam Fe dan Mn); NaOH-P (fraksi P yang teradsorpsi pada oksida logam, utamanya pada oksida logam Fe dan Al, yaitu senyawa P organik yang larut dalam basa); HCl-P (fraksi P yang terikat pada CaCO_3 dan apatit, dan fraksi P yang lepas karena pelarutan oksida logam, bukan merupakan fraksi P yang teradsorpsi di permukaan sedimen); residual P (fraksi P sisa, merupakan selisih total P (TP) dengan total keempat fraksi sebelumnya (Ribeiro, dkk., 2008). Diantara kelima fraksi tersebut, fraksi $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ merupakan fraksi yang sangat mempengaruhi pertumbuhan alga. Hal ini disebabkan $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ sangat mudah tertukar dan lepas ke badan air.

2.3.1 Sumber Fosfat dalam Sedimen

Sumber fosfat dalam perairan dan sedimen dapat berasal dari limbah industri, limbah domestik, kegiatan pertanian, pertambangan batuan fosfat, serta penggundulan



hutan (Ruttenberg, 2004), oleh karena itu peningkatan fosfat dalam perairan dan sedimen sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan sekitar. Sumber-sumber alami fosfor di perairan adalah pelapukan batuan mineral dan dekomposisi bahan organik. Sumber antropogenik fosfor adalah dari limbah industri dan limbah domestik, yakni yang berasal dari deterjen. Sumbangan dari daerah pertanian yang menggunakan pupuk juga memberikan kontribusi yang cukup besar bagi keberadaan fosfor (Wang, 2012).





Gambar 2.3. Siklus Fosfat secara Global (Manahan, 1994)

Siklus fosfat secara global ditunjukkan pada Gambar 2.3 yang cukup menjelaskan bahwa fosfat di alam terdapat dalam beberapa bentuk yaitu bentuk inorganic terlarut, polifosfat, dan bentuk inorganic tidak terlarut. Fosfat inorganic terlarut dapat diserap oleh organisme sebagai sumber fosfor yang akhirnya akan tersimpan di sedimen atau diubah lagi menjadi polifosfat setelah biodegradasi. Runoff dari limbah dan pupuk dapat terikat sebagai besi fosfat dan disimpan pada sedimen. Pelepasan fosfat pada sedimen setelah kurun waktu tertentu dapat dimanfaatkan lagi oleh makhluk hidup.

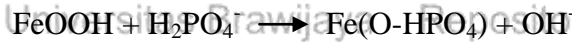
Konsentrasi fosfat dalam sedimen sangat dipengaruhi badan air. Fosfat dapat terdeposisi ke dalam pori sedimen apabila fosfat di dalam badan air berlebih melalui berbagai proses antara lain sedimentasi, adsorpsi dan presipitasi (Carignan, dkk., 1982). Dalam proses adsorpsi, FeOOH merupakan salah satu senyawa yang sangat penting. Senyawa FeOOH dapat terprotonasi dan deprotonasi, sehingga akan membentuk senyawa yang bermuatan positif atau negatif. Reaksi protonasi dan deprotonasi FeOOH dapat dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut (Golterman, 2004):



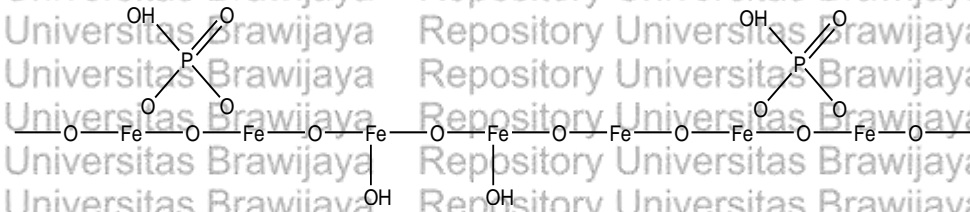
Proses reaksi tersebut dipengaruhi oleh nilai PZC (*Point of Zero Charge*). Nilai PZC Senyawa FeOOH pada pH 6,8. PZC sangat penting dalam proses adsorpsi, karena nilai PZC dapat mengetahui muatan permukaan sedimen. Pada pH diatas PZC, maka



permukaan sedimen akan bermuatan negatif, sedangkan pada pH dibawah PZC, permukaan sedimen akan bermuatan positif. Adsorpsi dari ortofosfat dengan FeOOH akan melepaskan gugus hidroksil (-OH). Reaksi adsorpsi dari ortofosfat dengan FeOOH adalah sebagai berikut (Golterman, 2004):



Dari reaksi di atas dapat membentuk senyawa kompleks (Syers, dkk., 1989). Secara sistematis struktur senyawa kompleks adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4 Struktur senyawa kompleks (Syers, dkk., 1989)

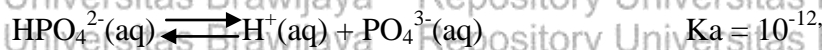
2.3.2 Bentuk Fosfat dalam Sedimen

Fosfor di perairan dan sedimen berada dalam bentuk senyawa fosfat. Senyawa fosfat dalam sedimen dapat berbentuk fosfat terlarut dan fosfat partikulat.

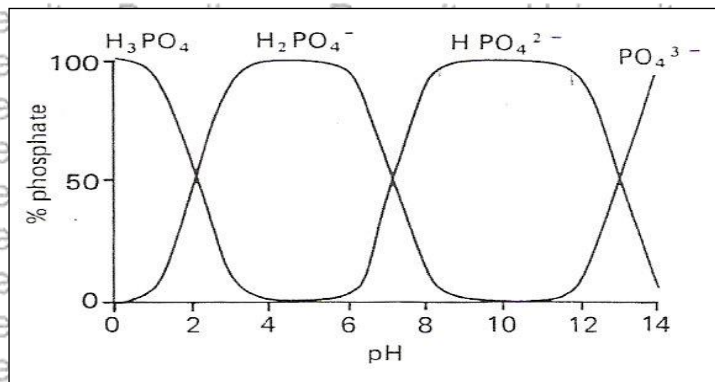
Senyawa fosfor di dalam sedimen digolongkan menjadi 3 (tiga) (Radojevic, 2006), yaitu *orthophosphates*, *Condensed phosphates* (*Pyro-*, *meta*, dan *polyphosphates*) serta *organic phosphorus*. Dari ketiga bentuk tersebut, ortofosfat merupakan fosfat yang dapat digunakan langsung oleh organisme yang ada di perairan, sedang polifosfat harus direduksi dulu menjadi ortofosfat sebelum dimanfaatkan. Fosfor dalam bentuk fosfat merupakan mikronutrien yang diperlukan dalam jumlah kecil



namun sangat esensial bagi organisme akuatik. Kekurangan fosfat juga dapat menghambat pertumbuhan fitoplankton. Konstanta disosiasi untuk fosfat adalah sebagai berikut:



Disosiasi spesi fosfat sangat dipengaruhi oleh pH. Kesetimbangan spesi P terhadap fungsi pH (Radojevic, dkk., 2006) dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.5 Kesetimbangan spesi P terhadap fungsi pH

2.3.3 Interaksi Fosfat diantara Muka Sedimen-Badan Air

Fosfat yang berada di dalam sedimen dapat berdifusi ke badan air. Fosfat yang mudah berdifusi ke badan air merupakan fosfat yang berada di permukaan sedimen.

Fosfat yang berdifusi dari sedimen ke badan air adalah fosfat tertukar dan fosfat yang terlarut dalam air pori sedimen. Kedua fraksi fosfat ini selanjutnya disebut *bioavailable phosphate/ immediately available phosphate (bio-P)*. Proses difusi fosfat ke dalam badan air akan terjadi apabila keadaan lingkungannya mendukung.



Peningkatan kandungan fosfat sangat banyak dapat menyebabkan peristiwa peledakan pertumbuhan alga (*eutrofikasi*). Peningkatan pertumbuhan alga di badan air dapat menyebabkan menurunnya konsentrasi oksigen dalam badan air sehingga menyebabkan kematian biota air, disamping itu melimpahnya fosfat akan merangsang pertumbuhan alga biru yang dapat memproduksi senyawa racun sehingga dapat meracuni biota di badan air (Rumhayati, 2010). Fosfat dalam sedimen dapat berdifusi ke badan air yang akan meningkatkan kadar fosfat di perairan, begitu pula badan air, apabila kandungan fosfat di badan air berlebih, fosfat akan kembali terdeposisi ke dalam pori sedimen melalui proses sedimentasi, adsorpsi dan presipitasi (Carignan, dkk., 1982). Dengan demikian, pentingnya peran sedimen terhadap proses eutrofikasi karena sedimen pada suatu perairan dapat bertindak sebagai sumber dan sekaligus penyimpan fosfat. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses difusi fosfat ke dalam badan air diantaranya sebagai berikut:

1. Kadar air

Analisis kandungan air di sedimen memiliki peranan penting dalam sistem sedimen. Air penting dalam pertumbuhan tumbuhan. Selain itu, dapat bertindak sebagai pelarut dan agen transport untuk nutrient dan polutan berbahaya serta sebagai media dalam reaksi kimia dan proses aktivitas mikroba (Radojevic, dkk., 2006). Dalam analisis fosfat penentuan kadar air sangat penting. Fosfat akan semakin mudah berpindah dari sedimen ke badan air atau badan air ke sedimen apabila kandungan air semakin banyak. Kelarutan fosfat tidak hanya bergantung pada kuantitas pelarut. Penentuan kadar air sedimen perlu dilakukan untuk analisa potensial redoks dan pH (Radojevic, 2006).

2. Porositas

Porositas merupakan perbandingan volume rongga-rongga pori terhadap volume total (Radojevic, dkk., 2006). Porositas sedimen erat kaitannya dengan tingkat kepadatan sedimen (Bulk Density). Semakin padat sedimen berarti semakin sulit untuk menyerap air, maka porositas sedimen semakin kecil. Sebaliknya semakin mudah sedimen menyerap air maka sedimen tersebut memiliki porositas yang besar.

Porositas sedimen dapat mempengaruhi senyawa yang akan berdifusi dari sedimen ke badan air atau badan air ke sedimen (Radojevic, dkk., 2006). Kelas porositas sedimen dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kelas porositas sedimen

Porositas (%)	Kelas
100	Sangat Porous
80-60	porous
60-50	baik
50-40	kurang baik
40-30	Jelek
<30	sangat jelek

Sumber: Radojevic (2006)

3. Tekstur sedimen

Tekstur dan ukuran partikel sedimen yang meliputi pasir, liat dan debu dapat mempengaruhi kandungan material organik di dalam sedimen. Sedimen dengan



ukuran partikel halus memiliki kandungan bahan organik yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan yang berukuran kasar. Tingginya kadar bahan organik pada sedimen dengan ukuran butir lebih halus disebabkan oleh adanya gaya kohesi (tarik-menarik) antara partikel sedimen (Radojevic, dkk., 2006).

4. Derajat keasaman (pH)

Pada dasarnya pH tidak sama dengan keasaman. Keasaman pada dasarnya adalah kapasitas kuantitatif air untuk menetralkan senyawa dengan sifat-sifat basa sampai pada pH tertentu, yang dikenal dengan sebutan *base neutralizing capacity* (BNC), sedangkan pH hanya menggambarkan konsentrasi ion H^+ dalam perairan tersebut.

5. Potensial redoks (Eh)

Potensial redoks diperlukan untuk menentukan mobilitas geokimia dari polutan dan nutrisi khususnya S, N, P dan logam berat di dalam lingkungan. Nilai potensial redoks juga dapat mengidentifikasi ketersediaan oksigen. Lapisan permukaan aerasi mempunyai nilai Eh yang tinggi yang mengindikasikan kondisi aerob karena ketersediaan oksigen. Sebaliknya, lapisan yang lebih dalam di sedimen, mengindikasikan kondisi reduksi yang mempunyai nilai Eh rendah karena adanya mikroorganisme dalam mengonsumsi oksigen, sehingga keterbatasan O_2 dalam sedimen (Radojevic, dkk., 2006).

6. Oksigen terlarut (*dissolved oxygen/ DO*)

Oksigen yang terlarut di dalam sedimen berasal dari oksigen yang terlarut di dalam perairan yang dapat keluar masuk sedimen melalui pori pada sedimen.



Kandungan oksigen yang terdapat dalam sedimen ini digunakan oleh mikroorganisme yang ada di dalam sedimen untuk respirasi selain itu juga diperlukan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik dan anorganik.

7. Bahan organik

Bahan organik dalam sedimen merupakan turunan fraksi organik dari organisme hidup, dekomposisi, dan sebagian terdekomposisi sisa tumbuhan dan hewan. Sebagai hasil dari dekomposisi, nutrien anorganik (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, dan Mn) dilepaskan kedalam dasar sedimen dan akan terbentuk humus. Bahan organik merupakan sumber energi utama dan makanan untuk mikroorganisme dalam sedimen. Bahan organik merupakan akumulasi dari sisa-sisa tanaman dan hewan yang mengalami perubahan bentuk karena dipengaruhi faktor biologi, kimia, dan fisika serta sebagian merupakan bahan yang resisten (Radojevic, dkk., 2006). Banyak sedikitnya bahan organik dalam sedimen mempengaruhi sifat-sifat sedimen seperti daya penahanan air, kapasitas serapan kation, kapasitas penyediaan unsur-unsur N, P dan S, stabilitas struktur dan aerasi sedimen.

2.4 Metode Analisis Kuantitatif Fosfat

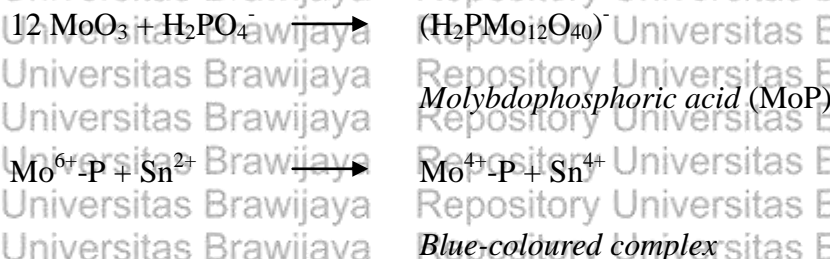
Beberapa Analisis kuantitatif fosfat sudah banyak ditemukan, diantara sebagai berikut:

1. Metode SnCl_2 (*Deniges Methods*)

SnCl_2 merupakan salah satu pereduksi yang mempunyai kesensitifan besar, tetapi pereaksi ini kurang stabil dan harus digunakan dalam keadaan baru (Abbott,



1963). Dalam metode ini, SnCl_2 bereaksi dengan ammonium molibdat membentuk senyawa kompleks berwarna biru yang mengabsorpsi maksimum cahaya pada panjang gelombang (λ) 690 nm. Kepekatan warna yang dihasilkan tergantung pada proporsi reagen yang ditambahkan, temperature dan waktu reaksi. Metode ini terganggu oleh silikat dan arsenit. Dalam metode SnCl_2 terdapat dua (2) tahapan reaksi yaitu pembentukan kompleks *Molybdophosphoric acid* (MoP) dan reaksi reduksi Mo dalam MoP oleh SnCl_2 (Jagessar, dkk., 2012). Tahapan reaksi tersebut dapat dilihat pada reaksi berikut:



2. Metode Asam Askorbat

Asam askorbat juga merupakan pereduksi selain SnCl_2 yang dapat memberikan warna senyawa kompleks biru. Dalam metode asam askorbat, ammonium molibdat dan kalium antimonil tartat bereaksi dalam suasana asam dengan larutan sampel membentuk senyawa kompleks antimonil fosfomolibdat yang akan direduksi oleh asam askorbat menjadi senyawa kompleks biru-molibdem (*molybdenum blue*). Metode ini diukur pada panjang gelombang (λ) 880 nm. Metode asam askorbat lebih sederhana, cepat dan akurat, akan tetapi reagen yang digunakan kurang stabil.



3. Metode Vanadat

Dalam metode vanadat, fosfat bereaksi dengan vanadat yang membentuk senyawa kompleks berwarna kuning. Warna dari kompleks fosfovanadomolibdat lebih stabil dibandingkan warna kompleks biru-molibdem. Dalam metode ini, bahan – bahan organik yang tercampur dalam sampel harus terlebih dahulu dihilangkan agar tidak mengganggu warna yang dihasilkan menggunakan pereaksi pengoksidasi, sehingga metode ini akan membutuhkan waktu yang lebih lama daripada metode SnCl_2 dan asam askorbat.

4. Metode hidroquinon – molibdat

Hidroquinon merupakan salah satu pereduksi yang sudah lama ditemukan, akan tetapi masih digunakan dalam *Association of Official Analytical Chemistry* (AOAC). Pada metode ini larutan fosfat direaksikan dengan ammonium molibdat membentuk ammonium fosfomolibdat, kemudian direduksi menggunakan hidroquinon. Waktu tunggu untuk pembentukan warna maksimum adalah 5 menit.

5. Metode Amino-naftol-asamsulfonat

Metode ini merupakan modifikasi dari Fisk dan Subbarow. Dalam metode ini, fosfat direaksikan dengan ammonium molibdat, kemudian direduksi dengan Amino-naftol-asamsulfonat yang menghasilkan senyawa kompleks biru. Metode ini kurang sensitive dan membutuhkan waktu yang cukup lama.



BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Kerangka Konseptual Penelitian

Fosfor merupakan nutrisi penting dalam reaksi biokimia pada tubuh makhluk hidup (Westheimer, 1987). Sumber fosfor di perairan dan sedimen adalah deposit fosfor, industri, limbah domestik, aktivitas pertanian dan pertambangan batuan fosfat serta penggundulan hutan (Ruttenberg, 2004). Oleh karena itu, peningkatan fosfor dalam perairan dipengaruhi oleh keadaan lingkungan sekitar, selain itu peningkatan fosfor di perairan juga sangat dipengaruhi oleh sedimen.

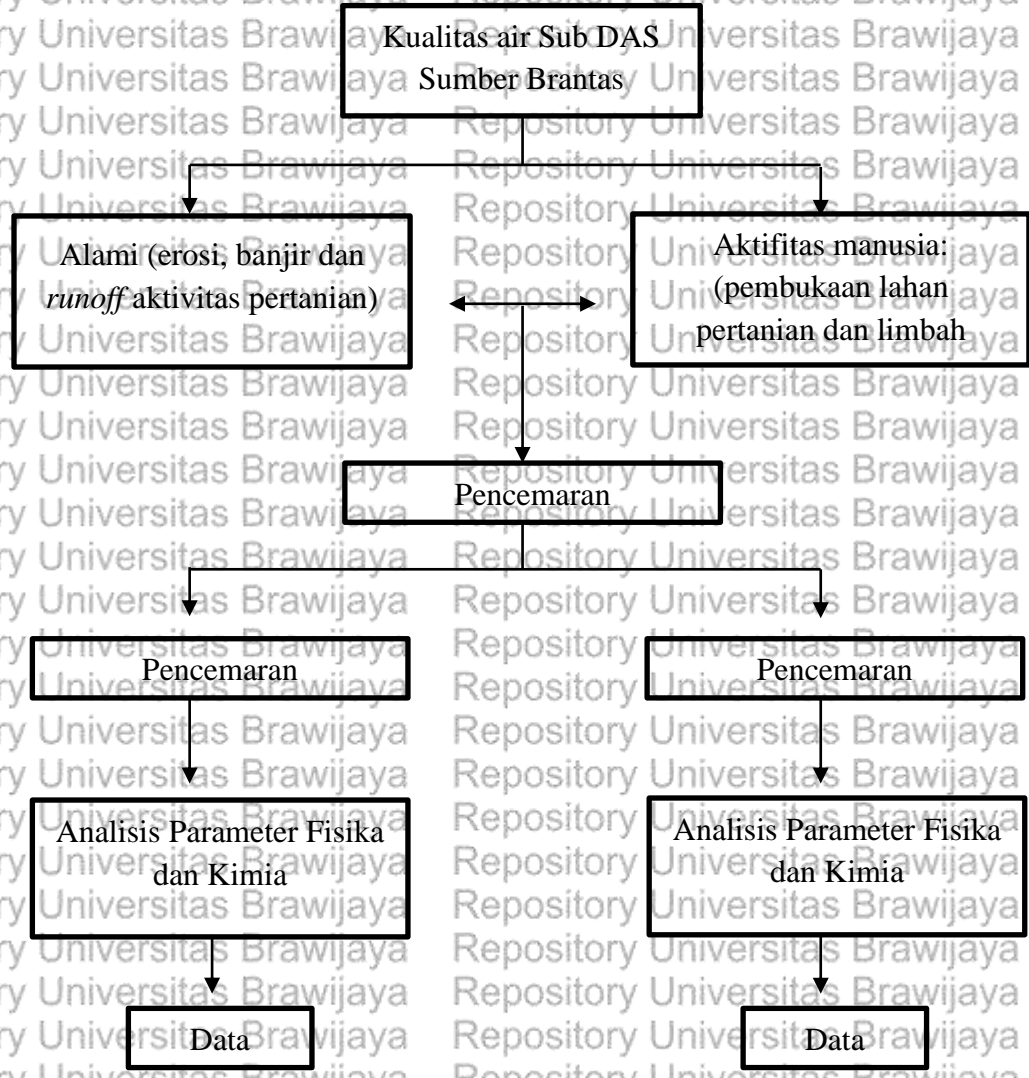
Sedimen merupakan materi mineral dan partikulat organik yang tidak bergabung, yang mengendap dan berada di bawah lingkungan akuatik. Sedimen dapat berfungsi sebagai *sink* (penyimpan) atau *source* (sumber) nutrisi (Golterman, 1995). Nutrisi yang terkandung di dalam sedimen dapat terdistribusi ke badan air, sehingga akan mempengaruhi kualitas air di perairan. Nutrisi yang berada dalam sedimen salah satunya adalah fosfor.

Fosfor dalam sedimen dapat berupa fosfat terlarut dalam air pori sedimen dan beberapa fraksi fosfat, diantaranya P-tertukar, Fe-P, Al-P, HCl-P, dan Residual-P (Ribeiro, dkk., 2008). Fosfat terlarut dalam air pori dan fosfat tertukar (P-tertukar) disebut sebagai *bioavailable phosphate/ immediately available phosphate (bio-P)* yang dapat dimanfaatkan langsung untuk pertumbuhan alga di badan air, sehingga fosfat terlarut dalam air pori dan fosfat tertukar (P-tertukar) sangat berpengaruh terhadap peristiwa peledakan pertumbuhan alga (*eutrofikasi*). Peningkatan



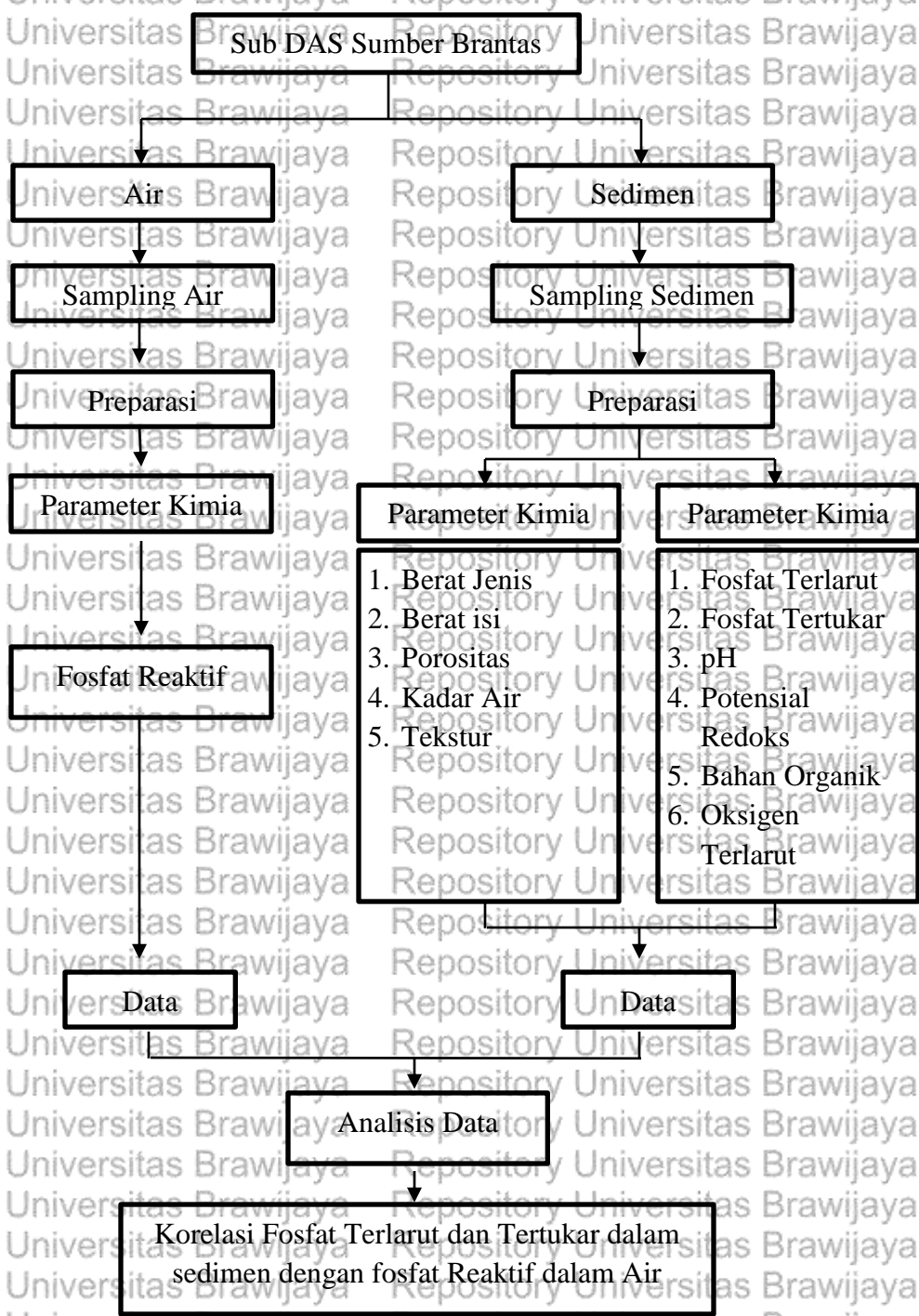
pertumbuhan alga di badan air dapat menyebabkan menurunnya konsentrasi oksigen dalam badan air sehingga menyebabkan kematian biota air, disamping itu melimpahnya fosfat akan merangsang pertumbuhan alga biru yang dapat memproduksi senyawa racun sehingga dapat meracuni biota di badan air. (Rumhayati, 2010). Oleh sebab itu, perlunya mengamati fosfat terlarut dalam air pori dan fosfat tertukar (P-tertukar).

Proses eutrofikasi dapat dihindari dengan mengurangi konsentrasi fosfat di badan air. Meskipun demikian, proses eutrofikasi masih dapat terjadi karena adanya mobilitas fosfat dari sedimen melalui proses fisika, kimia dan biokimia akibat interaksi sedimen dengan badan air (Bostrom, dkk., 1988). Fosfat dalam sedimen dapat berdifusi ke badan air yang akan meningkatkan kadar fosfat di perairan, begitu pula badan air, apabila kandungan fosfat di badan air berlebih, fosfat akan kembali terdeposisi ke dalam pori sedimen melalui proses sedimentasi, adsorpsi dan presipitasi (Carignan, 1982). Fosfat terlarut dalam air pori dan fosfat tertukar (*bioavailable phosphate/ immediately available phosphate: bio-P*) sangat dipengaruhi oleh porositas dan tekstur sedimen, pH, potensial redoks, DO (*dissolved oxygen*), dan bahan organik (Jin, dkk., 2006). Dengan demikian, pentingnya peran sedimen terhadap proses eutrofikasi karena sedimen pada suatu perairan dapat bertindak sebagai sumber dan sekaligus penyimpan fosfat. Peran tersebut yang mendasari penelitian ini untuk melakukan analisa terhadap sedimen dalam memonitor proses eutrofikasi di badan air dengan mengukur konsentrasi fosfat terlarut dalam air pori dan fosfat tertukar (P-tertukar). Secara singkat kerangka konseptual penelitian dapat diliha pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Kerangka Konseptual Penelitian

3.2 Kerangka Operasional Penelitian



Gambar 3.2. Kerangka Operasional Penelitian





BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Brawijaya Malang. Analisis fraksi fosfat dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia, Universitas Brawijaya, Malang.

Penelitian ini dilakukan dalam jangka waktu 3 bulan, Juli 2013 – September 2013.

4.2 Bahan dan Alat

4.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sedimen yang diambil dari sub DAS sumber brantas, akuades, NH_4Cl , ammonium molibdat, SnCl_2 , Gliserol, H_2SO_4 , KH_2PO_4 .

4.2.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat *shaker*, neraca analitik, pemanas listrik, alat-alat gelas, pengaduk magnet, kertas saring (Whatman 42), *aluminium foil*, pipet mikro, termometer raksa, pH meter, ayakan (20 mesh), sekop plastik, *polybag*.

Instrumen yang digunakan meliputi spektrofotometer UV-Vis.



4.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Penentuan titik sampling sedimen
2. Pengambilan sampel sedimen
3. Penyimpanan sampel sedimen
4. Preparasi sampel sedimen
5. Preparasi reagen fosfat
6. Preparasi Larutan Standar fosfat
7. Pembuatan kurva baku fosfat
8. Analisis sampel sedimen.
9. Analisis data

4.4 Prosedur Penelitian

4.4.1 Penentuan Titik Sampling Sedimen

Sebelum mengambil sampel sedimen perlu melakukan peninjauan ulang lokasi untuk mendapatkan sampel yang akurat. Penentuan titik sampling dilakukan

dengan mengambil 5 (lima) titik dengan jarak masing-masing titik 10 m. Koordinat

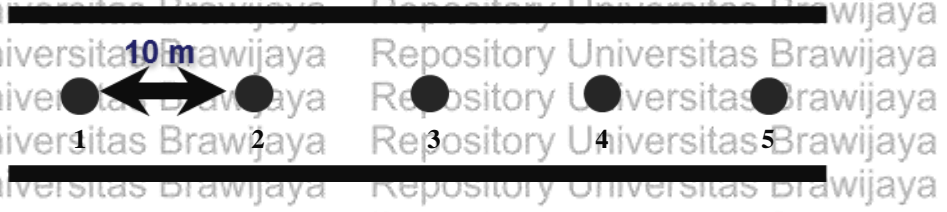
lokasi pengambilan sampel sedimen adalah sebagai berikut: titik ke-1 ($07^{\circ}45,422' \text{ LS}$

; $112^{\circ}31,640' \text{ BT}$), titik ke-2 ($07^{\circ}45,440' \text{ LS}$; $112^{\circ}31,629' \text{ BT}$), titik ke-3

($07^{\circ}45,433' \text{ LS}$; $112^{\circ}31,630' \text{ BT}$), titik ke-4 ($07^{\circ}45,430' \text{ LS}$; $112^{\circ}31,635' \text{ BT}$), titik

ke-5 ($07^{\circ}45,424' \text{ LS}$, $112^{\circ}31,639' \text{ BT}$). Titik pengambilan sampel sedimen dapat

dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1. Titik pengambilan sampel



Gambar 4. 2. Lokasi Pengambilan Sampel

4.4.2 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel menggunakan alat yang terbuat dari plastik. Sampel sedimen tersebut dimasukkan ke dalam *polybag* dan disimpan di dalam *cool box* untuk dianalisis di laboratorium. Pengambilan sampel dilakukan selama 3 (tiga) kali pada bulan Juli, Agustus, September 2013.



4.4.3 Penyimpanan Sampel Sedimen

Mengacu pada Stoeppler (1996), sampel yang telah diambil disimpan pada suhu 4°C untuk mencegah terjadinya perubahan komposisi senyawa sampel sedimen akibat aktifitas mikroorganisme. Sampel dapat disimpan menggunakan kantong plastik yang tertutup rapat sehingga tidak ada pengaruh dari udara luar agar tidak terjadi perubahan komposisi karena hilangnya material volatil, biodegradasi, reaksi kimia (reaksi redoks).

4.4.4 Preparasi Sampel Sedimen

Preparasi sampel sedimen dilakukan dengan cara sampel dikeringkan angin. Sampel sedimen yang telah kering angin dihomogenkan dengan menggunakan ayakan ukuran 80 mesh. Apabila sampel sadimen yang diperoleh masih sedikit, maka sampel sedimen dihaluskan dengan cara menumbuk. Sampel sedimen yang telah ditumbuk kemudian dihomogenkan ukuran sampel sedimennya menggunakan ayakan ukuran 80 mesh. Sampel sedimen yang telah homogen dilakukan analisis (Wang, 2012).

4.4.5 Preparasi Reagen Fosfat

4.4.5.1 Pembuatan Reagen Ammonium Molibdat

Sebanyak 2,5 gram ammonium molibdat dilarutkan ke dalam 17,5 mL akuades, kemudian diaduk hingga larut (Larutan A). Sebanyak 28 mL H₂SO₄ pekat



ditambahkan 40 mL akuades (Larutan B). Larutan A dan B dicampur dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian ditambahkan akuades sampai tanda batas.

4.4.5.2 Pembuatan Reagen SnCl_2

Sebanyak 0,5 gram SnCl_2 ditambahkan 20 ml gliserol. Larutan tersebut dipanaskan sampai SnCl_2 larut.

4.4.6 Preparasi Larutan Standar Fosfat

4.4.6.1 Pembuatan Larutan Induk Fosfat (PO_4^{3-}) 1000 ppm

Sebanyak 0,145 gram KH_2PO_4 dilarutkan dalam 20 mL akuades. Larutan tersebut dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan menambahkan akuades sampai tanda batas.

4.4.6.2 Pembuatan Larutan Standar Fosfat (PO_4^{3-})

Pembuatan larutan standar dilakukan dengan mengencerkan larutan induk secara bertahap. Larutan induk fosfat 1000 ppm diencerkan menjadi 100 ppm. sebanyak 0 ; 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,0 dan 2,5 ml larutan standar fosfat 100 ppm, kemudian diencerkan dalam labu ukur 100 ml dengan akuades hingga tanda batas.

4.4.7 Pembuatan Kurva Baku Fosfat

Larutan standar dengan konsentrasi 0 ; 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,0 dan 2,5 ppm yang telah direaksikan dengan menggunakan pereaksi ammonium molibdat diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis panjang gelombang 690 nm. Dari pengukuran tersebut akan didapatkan data absorbansi. Kurva standar



dapat diperoleh dari nilai absorbansi sebagai ordinat (sumbu Y) dan konsentrasi larutan sebagai absis (sumbu X)

4.4.8 Analisis Sampel Sedimen

4.4.8.1 Penentuan pH

Sampel sedimen diambil sebanyak 20 gram dan dimasukkan ke dalam beaker glass 250 mL. Sampel tersebut ditambahkan dengan 40 mL akuades kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit, kemudian diukur pH menggunakan pH meter. Dalam pengukuran pH, elektroda pH meter diletakkan di supernatannya tanpa harus menyentuh partikel sedimen. (Radojevic, dkk., 2006).

4.4.8.2 Penentuan Potensial Redoks (eh)

Sampel sedimen diambil sebanyak 20 gram dan dimasukkan ke dalam beaker glass 250 mL. Sampel tersebut ditambahkan dengan 40 mL akuades kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit, kemudian mengukur potensial redoks menggunakan potensiometer. Dalam pengukuran potensial redoks, elektroda potensiometer diletakkan di supernatannya tanpa harus menyentuh partikel sedimen. (Radojevic, dkk., 2006).

4.4.8.3 Penentuan Porositas

Penentuan porositas sedimen terlebih dahulu menganalisis *bulk density* (berat isi) dan berat isi (*specific gravity*) (Allen, 1989). *Bulk density* (berat isi) ditentukan dengan menimbang sampel sebanyak 50 gram, kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan temperatur 105°C. Setelah konstan, sampel tersebut kemudian



dimaukan ke tabung volume silinder, selanjutnya ditekan dan mengukur volume sedimen.

4.4.8.4 Penentuan Tekstur

Sampel yang telah dipreparasi ditimbang sebanyak 20 gram dan dimasukkan ke dalam gelas piala bervolume 2 L. Sampel tersebut ditambahkan 100 mL H₂O₂ 10%, simpan di atas bak berisi air. kocok dan didiamkan selama 24 jam. Kemudian panaskan sambil menambahkan H₂O₂ 30% sedikit demi sedikit sampai tidak berbuih. Menambahkan 0,5 mL HCl 6 M dan tambahkan air hingga separuh gelas piala, kemudian didihkan selama 20 menit. Tambahkan lagi air sampai tiga per empat dari gelas piala, diaduk dan di biarkan selama satu malam. Setelah semua butiran mengendap, keluarkan air sampai tersisa 3 cm di atas permukaan endapan. Pisahkan fraksi pasir dari debu dan liat dengan menggunakan ayakan 50 μ . Fraksi debu dan liat ditampung dalam gelas ukur bervolume 1 L. pindahkan fraksi pasir dari ayakan tersebut kedalam cawan porselen, kemudian keringkan di atas pemanas. Setelah kering kemudian ditimbang. Kemudian fraksi debu dan liat ditambahkan 50 mL Na-hexametafosfat sebagai peptisator. Tambahkan air sampai tanda tera, kemudian tutup gelas dengan sumbat karet, lalu kocok dengan jalan menjungkir balikkan gelas tersebut. Gelas ukur tersebut kemudian dimasukkan ke dalam air, kemudian buka sumbatannya. Lakukan pemipetan dari gelas ukur sesuai dengan Tabel 4.1. kemudian setelah di pipet dituangkan kedalam cawan porselin untuk dikeringkan pada suhu 105^oC sampai berat konstan, lalu ditimbang.



Tabel 4.1 Volume pipet, kedalaman, dan waktu pemipetan

Ukuran Fraksi (Mm)	Volume Pipet (mL)	Kedalaman Pemipetan (cm)	Waktu		
			Jam	Menit	Detik
0 - 50	50	0	0	0	0
0 - 20	10	0	0	4	6
0 - 10	10	0	0	16	18
0 - 2	10	6	6	47	0

Sumber: Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian

4.4.8.5 Penentuan Kadar Air

Sampel yang telah dipreparasi ditimbang sebanyak 1 gram dan dimasukkan ke dalam *aluminium foil*. Sampel tersebut dimasukkan ke dalam oven dengan temperature 105⁰C selama 2 jam (Radojevic, 2006). Perlakuan ini dilakukan sampai mendapatkan berat sampel yang konstan.

4.4.8.6 Penentuan Bahan Organik

Sampel sedimen yang telah dipreparasi masing-masing diambil sebanyak 2 gram, kemudian dimasukkan ke dalam cawan yang sudah diketahui beratnya. Sampel tersebut dipanaskan ke dalam oven selama 5 jam pada suhu 500⁰C (Delgado, dkk., 1991). Kemudian mendinginkan sampel di dalam desikator dan ditimbang.

4.4.8.7 Penentuan Fraksi Fosfat Terlarut

Sampel sedimen yang telah dipreparasi masing-masing diambil sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam Erlenmeyer. Sampel tersebut ditambahkan 25 mL akuades dan dishaker selama 30 menit (Meis, dkk., 2012). Campuran kemudian



dipisahkan menggunakan kertas saring Whatman no.42. Supernatan yang diperoleh dianalisis untuk menentukan kadar fosfat.

4.4.8.8 Penentuan Fraksi Fosfat Tertukar

Sampel sedimen yang telah dipreparasi masing-masing diambil sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam Erlenmeyer. Sampel tersebut ditambahkan 25 mL NH_4Cl 1M dan dishaker selama 30 menit (Meis, dkk., 2012). Campuran kemudian dipisahkan menggunakan kertas saring Whatman no.42. Supernatan yang diperoleh dianalisis untuk menentukan kadar fosfat.

4.4.8.9 Penentuan Kadar Fosfat

Dalam pengukuran kadar fosfat, supernatan yang telah diperoleh diambil sebanyak 4 mL dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi. supernatan ditambahkan 0,16 mL reagen ammonium molibdat dan 20 μL SnCl_2 , kemudian didiamkan selama 10 menit dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 690 nm.



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Distribusi Fraksi Fosfat Terlarut dan Fosfat Tertukar dalam Sedimen

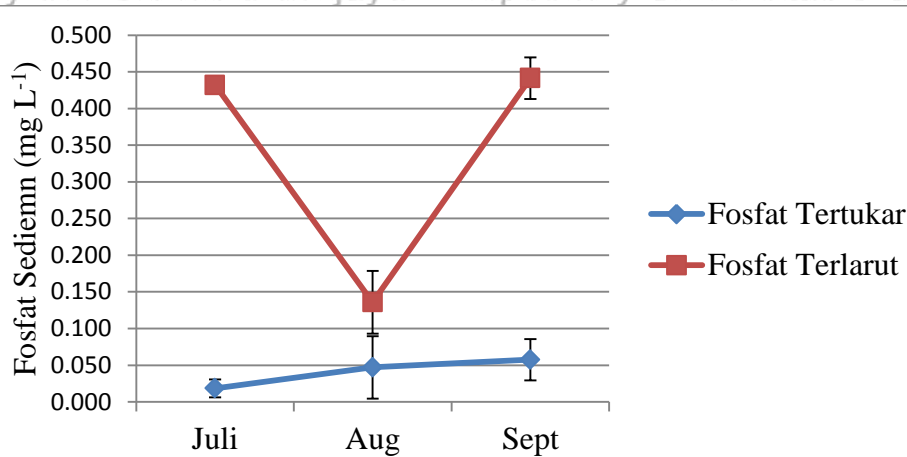
Ketersediaan fraksi fosfat terlarut dan tertukar (*bioavailable Phosphate*) merupakan fraksi fosfat yang mudah berdifusi dari sedimen ke badan air. Fraksi fosfat ini merupakan salah satu fraksi fosfat yang langsung dapat dimanfaatkan oleh alga. Apabila kandungan fosfat di perairan meningkat dapat menyebabkan peledakan pertumbuhan alga (Correll, 1998).

Fraksi fosfat terlarut dan tertukar (*bioavailable Phosphate*) merupakan fraksi fosfat yang mudah berdifusi ke badan air, akibat mudahnya berdifusi ke badan air maka kadar fosfat pada badan air sangat dipengaruhi oleh fraksi fosfat terlarut dan tertukar (*bioavailable Phosphate*).

Selain itu fraksi fosfat terlarut dan tertukar (*bioavailable Phosphate*) merupakan fraksi fosfat yang langsung dapat dimanfaatkan oleh alga.

Kuantitas fraksi fosfat terlarut dan tertukar (*bioavailable Phosphate*) sedimen semakin tinggi, maka fraksi fosfat terlarut dan tertukar (*bioavailable Phosphate*) akan semakin mudah berdifusi ke badan air, begitu pula sebaliknya apabila kuantitas fraksi fosfat terlarut dan tertukar (*bioavailable Phosphate*) sedimen lebih kecil dibandingkan dengan kuantitas di badan air, maka fraksi fosfat terlarut dan tertukar (*bioavailable Phosphate*) akan semakin mudah berdifusi ke sedimen (Rumhayati, 2010).

Kandungan fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar (*bioavailable Phosphate*) sedimen dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Kandungan fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar (*bioavailable Phosphate*) sedimen

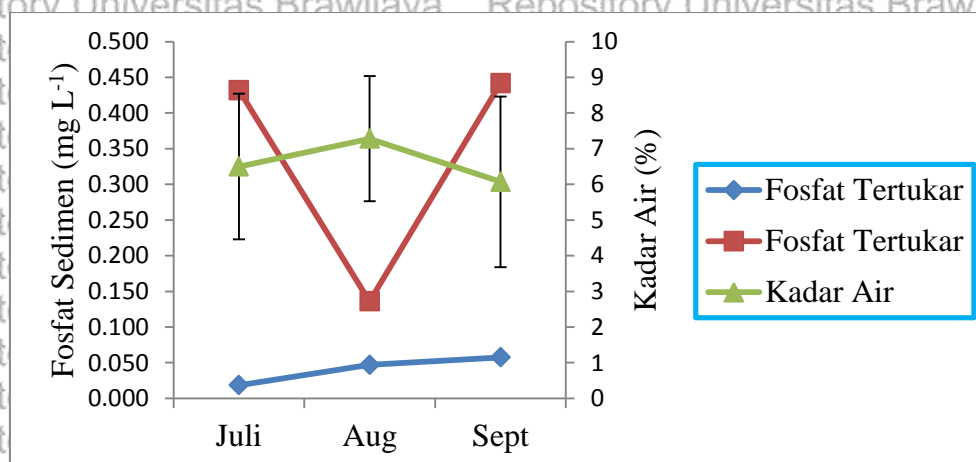
Pada fraksi tertukar Kandungan fraksi fosfat terlarut (Gambar 5.1) menunjukkan kuantitas distribusi fraksi fosfat terlarut dari bulan Juli ke agustus mengalami penurunan, sedangkan dari bulan Agustus ke september mengalami kenaikan. Fraksi fosfat tertukar (Gambar 5.1) menunjukkan kuantitas distribusi fraksi fosfat tertukar mengalami kenaikan baik dari bulan Juli ke Agustus, ataupun dari bulan Agustus ke September.

Kandungan fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) (Gambar 5.1) menunjukkan fraksi fosfat terlarut pada bulan Juli, Agustus, dan September lebih besar daripada distribusi fraksi fosfat tertukar, akan tetapi secara umum rata-rata distribusi fosfat terlarut pada bulan Juli, Agustus, September memiliki kuantitas lebih besar dibandingkan distribusi fosfat tertukar (Gambar 5.1). Perbedaan kuantitas distribusi fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) tersebut,

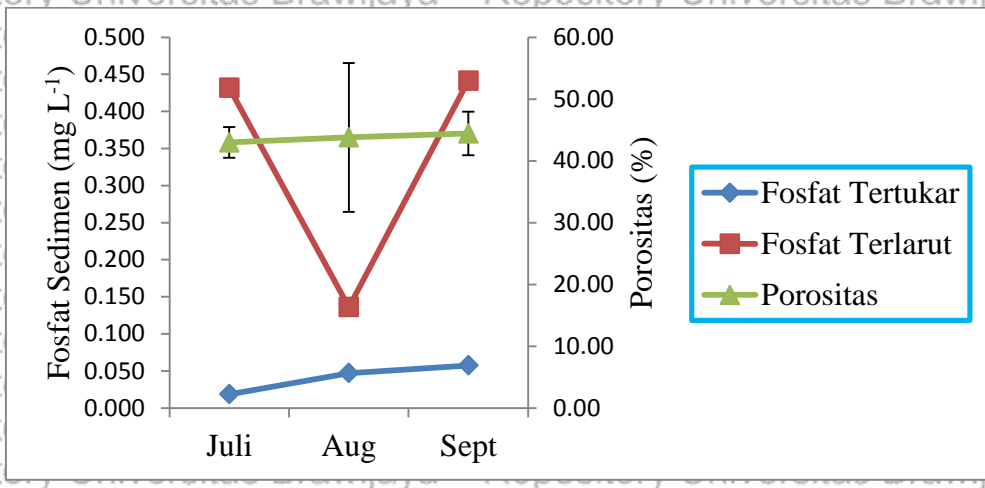
disebabkan fosfat terlarut dalam air pori dan fosfat tertukar (*bioavailable phosphate/ immediately available phosphate: bio-P*) sangat dipengaruhi oleh sifat kimia dan fisika sedimen, diantaranya porositas dan tekstur sedimen, pH, potensial redoks, DO (*dissolved oxygen*), dan bahan organik (Jin, dkk., 2006).

Tabel 5.1. Tekstur Sedimen

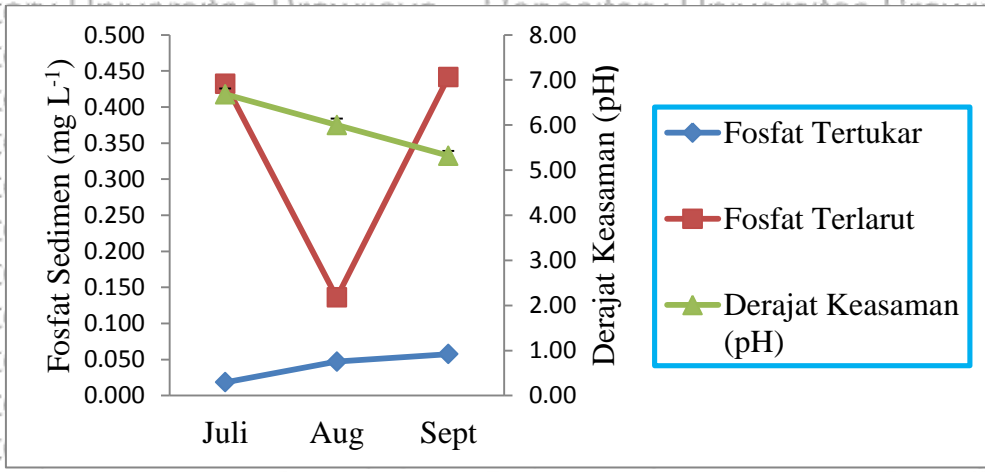
Sampel	Komposisi (%)			Kelas
	Pasir	Debu	Liat	
Juli - 1	100,00	0,00	0,00	Pasir
Juli - 2	100,00	0,00	0,00	Pasir
Juli - 3	100,00	0,00	0,00	Pasir
Juli - 4	100,00	0,00	0,00	Pasir
Juli - 5	100,00	0,00	0,00	Pasir
Aug - 1	100,00	0,00	0,00	Pasir
Aug - 2	100,00	0,00	0,00	Pasir
Aug - 3	100,00	0,00	0,00	Pasir
Aug - 4	100,00	0,00	0,00	Pasir
Aug - 5	100,00	0,00	0,00	Pasir
Sept - 1	100,00	0,00	0,00	Pasir
Sept - 2	100,00	0,00	0,00	Pasir
Sept - 3	100,00	0,00	0,00	Pasir
Sept - 4	100,00	0,00	0,00	Pasir
Sept - 5	100,00	0,00	0,00	Pasir



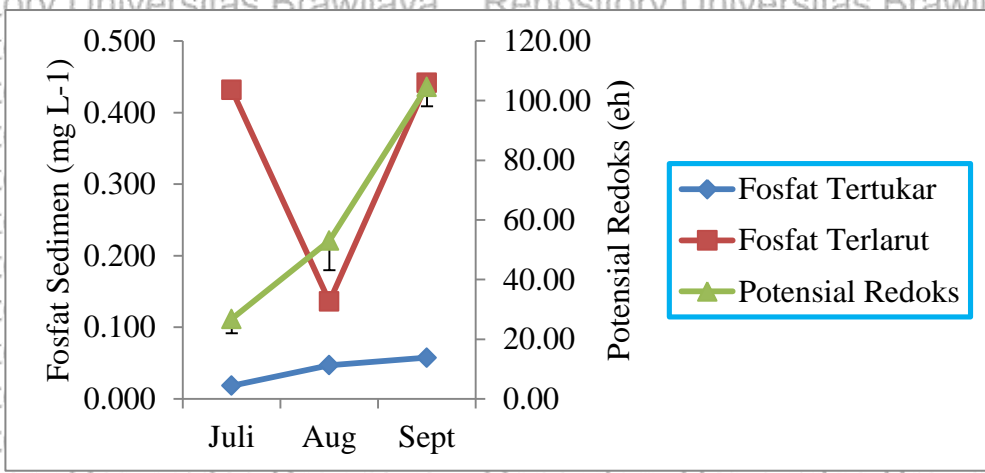
Gambar 5.2 Hubungan fosfat sedimen dengan kadar air



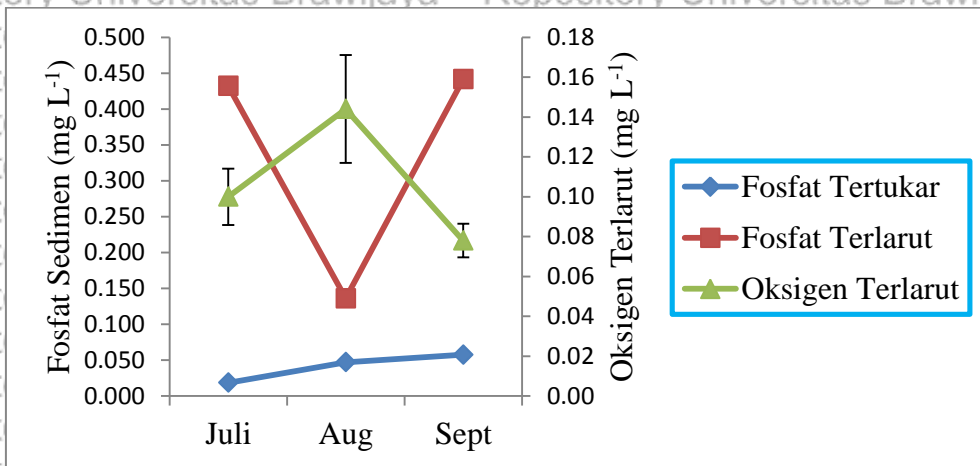
Gambar 5.3 Hubungan fosfat sedimen dengan porositas



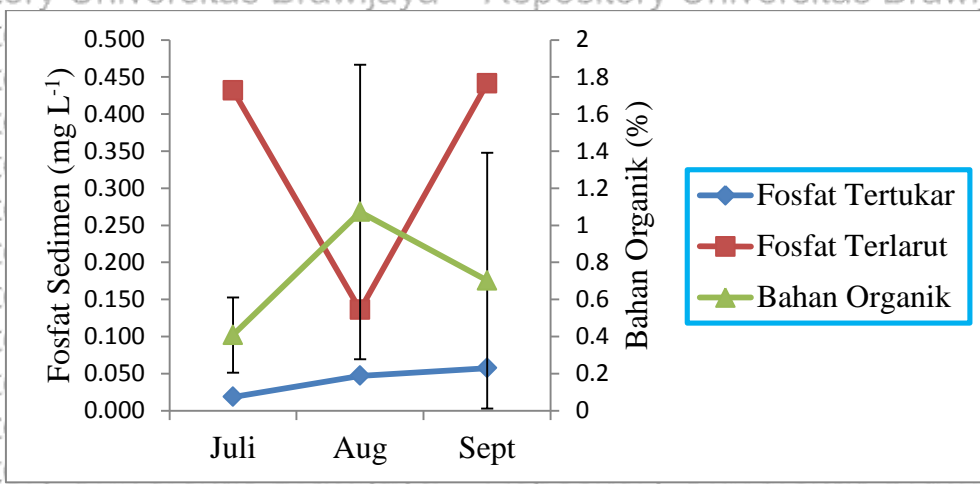
Gambar 5.4 Hubungan fosfat sedimen dengan derajat keasaman (pH)



Gambar 5.5 Hubungan fosfat sedimen dengan potensial redoks (eh)



Gambar 5.6 Hubungan fosfat sedimen dengan oksigen terlarut



Gambar 5.7 Hubungan fosfat sedimen dengan bahan organik

Derajat keasaman (pH) dapat mempengaruhi distribusi fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar sedimen. Dari hasil penelitian ini (gambar 5.4), pada sampel sedimen bulan Juli $pH\ 6,68 \pm 0,13$, sampel sedimen bulan Agustus $pH\ 6,00 \pm 0,08$, dan sampel bulan September rentang $pH\ 5,32 \pm 0,11$. Distribusi fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar sedimen pada bulan Agustus ke September mengalami kenaikan seiring menurunnya nilai pH. Hal ini sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Zhang, dkk.,



(2013), sedimen yang memiliki derajat keasaman (pH) tinggi maka fosfat cenderung akan dilepas sedimen ke badan air, sebaliknya sedimen yang memiliki derajat keasaman (pH) rendah fosfat akan diserap oleh sedimen (Zhang, dkk., 2013). Hal tersebut disebabkan pada pH rendah FeOOH akan terprotonasi menjadi FeOOH_2^+ , sehingga fosfat akan mudah teradsorpsi ke dalam sedimen (Golterman, 2004). Reaksi pengikatan FeOOH sebagai berikut:



Selain itu, dalam penelitian ini distribusi fraksi fosfat terlarut lebih besar daripada fosfat tertukar baik pada bulan Juli, Agustus, dan September. Hal ini dapat disebabkan pada pH diatas 6,5, Fe(III) akan mengalami penurunan dalam pengikatan fosfat yang disebabkan oleh adanya persaingan fosfat dengan anion lain seperti SO_4^{2-} (Lehtoranta, 2003). Pada bulan juli distribusi fraksi fosfat tertukar rendah, sedangkan distribusi fraksi fosfat terlarut tinggi. Hal ini tidak sesuai dengan nilai pH yang lebih besar pada bulan Juli dibandingkan bulan Agustus dan September. Tingginya distribusi fraksi fosfat terlarut pada bulan Juli dapat disebabkan oleh curah hujan pada bulan Juli lebih tinggi (Lampiran 1.3), sehingga fosfat di badan air meningkat akibat dari *runoff* dari lahan pertanian.

Derajat keasaman (pH) dapat mempengaruhi bentuk spesi fosfat (Radojevic, dkk., 2006). Dari hasil penelitian derajat keasaman (Gambar 5.4), data tersebut kemudian dikorelasikan kesetimbangan spesi P terhadap fungsi pH (Gambar 2.4), maka spesi P dalam sampel bulan Juli adalah H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} ; spesi P dalam sampel bulan Agustus adalah H_2PO_4^-



dan HPO_4^{2-} ; spesi P dalam sampel bulan Juli adalah H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} ;

Spesi P yang dimiliki oleh ketiga sampel tersebut sama, akan tetapi jumlah kedua spesi tersebut berbeda. Sedimen yang pH-nya lebih asam akan mempunyai kandungan spesi H_2PO_4^- lebih banyak dibandingkan spesi HPO_4^{2-} . Spesi fosfat yang terikat oleh FeOOH adalah H_2PO_4^- (Lehtoranta, 2003). Hal ini terbukti dengan semakin banyaknya fraksi fosfat tertukar sering menurunnya pH sedimen.

Oksigen terlarut merupakan salah satu faktor yang menyebabkan perpindahan fosfat lepas dari sedimen ke badan air atau dari badan air ke sedimen (Hapfer, dkk., 2008). Dalam keadaan aerobik, fosfat akan berpindah dari badan air ke dalam sedimen, sebaliknya pada keadaan anoksik, fosfat cenderung akan berpindah dari sedimen ke badan air (Hapfer, dkk., 2008). Hal ini dapat disebabkan pada keadaan aerobik, Fe(II) pada sedimen akan teroksidasi menjadi Fe(III), sehingga fosfat akan teradsorpsi ke dalam sedimen (Dijkstra, 2014). Dalam penelitian ini, kandungan oksigen terlarut (DO) sedimen (Gambar 5.6) pada bulan Juli $0,10 \pm 0,01 \text{ mg L}^{-1}$, Agustus $0,14 \pm 0,00 \text{ mg L}^{-1}$, September $0,08 \pm 0,01 \text{ mg L}^{-1}$.

Dari hasil tersebut dapat dikatakan sedimen Sub DAS Sumber Brantas dalam kondisi anoksik. Hal ini sesuai dengan kuantitas distribusi fraksi fosfat terlarut yang lebih besar daripada fosfat tertukar dalam sedimen akibat teroksidasinya Fe(III) menjadi Fe(II), sehingga fosfat akan lebih banyak dalam fraksi terlarut. Selain itu, korelasi antara distribusi fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar (gambar 5.6) pada bulan Agustus ke September distribusi fosfat terlarut dan fosfat tertukar sedimen mengalami



kenaikan seiring menurunnya kandungan oksigen. Hal ini sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Hapfer, dkk (2008), apabila kandungan oksigen terlarut semakin sedikit, maka fosfat akan berpindah dari sedimen ke badan air, akan tetapi pada bulan September terjadi perbedaan antara distribusi fraksi fosfat terlarut dengan distribusi fraksi fosfat tertukar. Distribusi fraksi fosfat terlarut pada Juli mengalami kenaikan seiring menurunnya oksigen terlarut, akan tetapi hal tersebut tidak diikuti oleh distribusi fraksi fosfat tertukar yang semakin kecil. Hal ini dapat disebabkan kandungan fosfat tertukar pada bulan Juli sudah banyak yang terlepas ke permukaan sedimen, sehingga kandungan fraksi fosfat terlarut lebih banyak, selain itu juga dapat disebabkan pada bulan Juli kandungan Fe (III) dalam sedimen sedikit yang dapat mengakibatkan adsorpsi fosfat yang sedikit meskipun dalam keadaan anoksik (Hapfer, dkk., 2008).

Potensial redoks dapat memberikan informasi mengenai distribusi senyawa fosfat dalam sedimen (Haraguchi, 2012). Potensial redoks akan menggambarkan jumlah elektron yang ada dalam sedimen, semakin banyak jumlah elektron dalam sedimen, maka akan semakin besar nilai dari potensial redoks (Cyio, 2008). Dalam penelitian ini, hubungan antara potensial redoks dengan distribusi fraksi fosfat terlarut dan tertukar sedimen dapat dilihat pada Gambar 5.5. Nilai potensial redoks pada bulan Juli $26,80 \pm 4,76$ mV; Agustus $52,10 \pm 5,96$ mV; September $104,60 \pm 6,54$ mV.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Haraguchi (2012), pada nilai potensial redoks mulai -100 mV Fe(III) akan tereduksi menjadi Fe(II).

Dari nilai tersebut sedimen Sub DAS Sumber Brantas menunjukkan bahwa



Fe(III) dalam sedimen akan tereduksi menjadi Fe(II). Hal tersebut sesuai dengan lebih banyaknya distribusi fraksi fosfat terlarut daripada fraksi fosfat tertukar akibat dari lepasnya fosfat dari sedimen ke pori sedimen..

Tekstur sedimen dalam pengikatan senyawa fosfat. Fosfat di sedimen dapat terikat dalam mineral yang mengandung Fe, Al, Mn, dan Ca (Lehtoranta, 2003). Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa komposisi sedimen yang dimiliki 100% pasir, 0,00% debu, dan 0,00% (Tabel 5.1).

Apabila komposisi tersebut dikorelasikan dengan segitiga tekstur (Gambar 2.2), maka sedimen dalam penelitian ini pada bulan Juli, Agustus, dan September di Sub DAS Sumber Brantas termasuk sedimen dengan kelas Pasir. Kandungan sedimen dengan kelas pasir didominasi SiO_2 (Lehtoranta, 2003). Hal tersebut akan menyebabkan sedimen sulit untuk mengadsorpsi senyawa fosfat dari badan air ke dalam sedimen, akibat dari rendahnya kandungan Fe, Al, Mn, dan Ca di dalam sedimen. Hal tersebut sesuai dengan tingginya distribusi fraksi fosfat terlarut daripada fraksi fosfat tertukar, akibat dari rendahnya kandungan Fe, Al, Mn, dan Ca dalam sedimen. Dalam penelitian ini, Kandungan fosfat sedimen Sub DAS Sumber Brantas baik pada bulan Juli, Agustus, dan September relatif kecil.

Hal ini dapat disebabkan oleh rendahnya kandungan fosfat sedimen dapat disebabkan luas permukaan sedimen bertekstur pasir memiliki luas permukaan yang lebih kecil daripada sedimen yang bertekstur debu atau liat, sehingga akan memperkecil reaksi kimia yang terjadi pada permukaan sedimen (Maslukah, 2013).



Bahan organik berpengaruh terhadap perpindahan fosfat dari sedimen (Watts, 2000). Kandungan bahan organik dalam sedimen dalam penelitian ini (Gambar 5.7), Juli $0,408 \pm 0,203 \text{ mg L}^{-1}$, Agustus $1,072 \pm 0,795 \text{ mg L}^{-1}$, September $0,702 \pm 0,690 \text{ mg L}^{-1}$. Besarnya distribusi fosfat terlarut dibandingkan dengan fosfat tertukar dalam penelitian ini, dapat disebabkan oleh reaksi reduksi dari Fe(III) menjadi Fe(II) oleh mikroorganisme, dimana reduksi Fe(III) elektronnya berasal dari bahan organik menuju FeOOH yang menjadi Fe(II) yang berimbas ke pelepasan fosfat ke permukaan sedimen (Watts, 2000). Proses reduksi Fe(III) oleh mikroorganisme sebagai berikut (Lovley, 1991).

Fermentable Substrate \rightarrow $\text{ne}^- + \text{nH}^+ + \text{Fermentation Product}$



Kadar air sangat penting dalam perpindahan senyawa fosfat. Air dapat bertindak sebagai pelarut dan agen transport untuk nutrisi dan polutan berbahaya serta sebagai media dalam reaksi kimia dan proses aktivitas mikroba (Radojevic, dkk., 2006). Fosfat akan semakin mudah berpindah dari sedimen ke badan air atau badan air ke sedimen apabila kandungan air semakin banyak. Dalam penelitian ini, hubungan keterkaitan antara fosfat sedimen dengan kadar air (Gambar 5.2). Persentase kadar air dalam penelitian ini pada bulan Juli $6,50 \pm 2,04 \%$; Agustus $7,28 \pm 1,75 \%$; September $6,07 \pm 2,39 \%$. Rendahnya persentase kadar air tersebut dapat menghambat perpindahan fosfat dari badan air ke sedimen (Cheng, 2014).

Hal tersebut sesuai dengan sedikitnya distribusi fraksi fosfat tertukar dibandingkan fosfat terlarut. Kuantitas kadar air yang sedikit diperkuat

dengan tekstur yang dimiliki sedimen, sedimen yang bertekstur pasir akan memiliki daya menahan air sangat sedikit.

Porositas sedimen juga memiliki peran penting dalam distribusi fosfat dari badan air ke sedimen ataupun dari sedimen ke badan air.

Porositas sedimen yang besar maka akan memberikan kemudahan air untuk masuk ke dalam pori sedimen, sehingga akan mempermudah perpindahan fosfat dari badan air ke sedimen ataupun dari sedimen ke badan air. Dalam penelitian ini (Gambar 5.3), porositas sedimen pada bulan juli memiliki

rentang 39,77% - 45,86%, pada bulan agustus memiliki rentang 31,74% - 54,35%, dan pada bulan september memiliki rentang 39,98% - 48,14%.

Porositas tersebut cukup besar, sehingga akan mempermudah distribusi fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar. Dalam penelitian ini distribusi fraksi fosfat terlarut lebih besar daripada fosfat tertukar. Hal ini disebabkan porositas semakin sedikit maka fosfat akan berada lebih banyak di pori sedimen. Hal tersebut dapat disebabkan sedimen Sub DAS Sumber Brantas relatif sedikit, hal ini dapat disebabkan kandungan fosfat di badan air yang sedikit sehingga meskipun porositasnya besar fosfat dalam sedimen akan sedikit. Rendahnya Fraksi fosfat terlarut dan fosfat tertukar sedimen Sub

DAS Sumber Brantas juga dapat disebabkan laju alir air di Sub DAS Sumber Brantas, akan tetapi tidak dilakukan dalam penelitian ini. Porositas di Sub DAS Sumber Brantas sesuai dengan tekstur sedimen dengan kelas pasir memiliki rentang persentase porositas 30% - 60% (Radojevic, 2006).

Kandungan fosfat sedimen (Gambar 5.7) menunjukkan pada bulan Juli $0,450 \text{ mg L}^{-1}$, Agustus $0,183 \text{ mg L}^{-1}$, dan September $0,499 \text{ mg L}^{-1}$. Hal



ini apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Setyowati, dkk (2011), kandungan fosfat sedimen tiga titik di daerah hulu sungai Brantas, kabupaten Kepanjen, menunjukkan bahwa fosfat sedimen yang terukur adalah $0,063 \text{ mg L}^{-1}$, $0,1306 \text{ mg L}^{-1}$, $0,1568 \text{ mg L}^{-1}$. Hal tersebut menunjukkan bahwa kandungan fosfat sedimen pada tahun 2011 ke 2013 mengalami kenaikan. Hal ini dapat diakibatkan adanya perubahan fungsi lahan menjadi daerah pertanian, sehingga dapat menimbulkan kenaikan kadar fosfat akibat dari penggunaan senyawa fosfat dalam bidang pertanian yang dapat mengalami *runoff* ke badan air.

5.2 Peran Sedimen Sub DAS Sumber Brantas

Sedimen dapat berfungsi sebagai *sink* (penyimpan) atau *source* (sumber) nutrien (Golterman, 1995). Fosfat dalam sedimen dapat berdifusi ke badan air yang akan meningkatkan kadar fosfat di perairan, begitu pula badan air, apabila kandungan fosfat di badan air berlebih, fosfat akan kembali terdeposisi ke dalam pori sedimen melalui proses sedimentasi, adsorpsi dan presipitasi (Carignan, 1982). Peran sedimen dapat diketahui dengan membandingkan kandungan fraksi fosfat terlarut dan fraksi fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) sedimen dengan kandungan fosfat reaktif dalam badan air, apabila kandungan fraksi fosfat terlarut dan fraksi fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) dalam sedimen lebih banyak daripada fosfat reaktif badan air, maka dapat dikatakan bahwa sedimen tersebut berperan sebagai *sink* (peyimpan), dan sebaliknya apabila kandungan fraksi fosfat terlarut dan fraksi fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) dalam

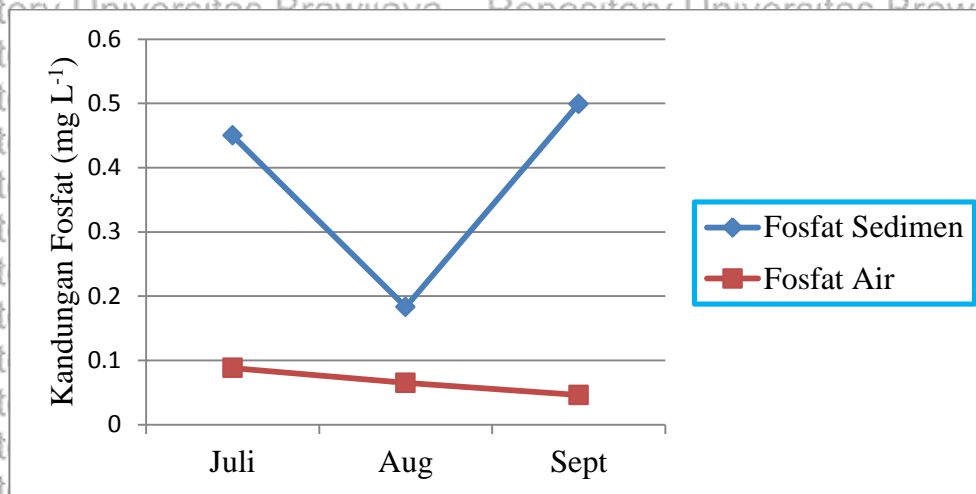


sedimen lebih sedikit daripada fosfat reaktif badan air, maka dapat dikatakan bahwa sedimen tersebut berperan sebagai *source* (sumber) (Lam, 2008). Hubungan fosfat sedimen dengan fosfat badan air dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.8.

Sedimen suatu perairan dapat berfungsi sebagai *sink* (penyimpan) atau *source* (sumber) nutrisi seperti fosfat (Golterman, 1995). Hubungan fosfat sedimen dengan fosfat badan air (Gambar 5.8) menunjukkan pada bulan Juli, Agustus, dan September kadungan fraksi fosfat terlarut dan fraksi fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) lebih banyak dibandingkan dengan kandungan fosfat reaktif badan air. Dari korelasi tersebut, sedimen di Sub DAS Sumber Brantas berperan sebagai *sink* (Penyimpan). Peran sedimen di Sub DAS Sumber Brantas sebagai *sink* (penyimpan) diperkuat dengan hubungan nilai pH sedimen (Gambar 5.3) dengan keterikatan senyawa fosfat oleh FeOOH. Sedimen yang memiliki nilai pH di bawah PZC (*Point of Zero Charge*), maka FeOOH akan terprotonasi membentuk ion positif (FeOOH_2^+), sedangkan nilai pH di atas PZC (*Point of Zero Charge*) FeOOH akan terdeprotonasi membentuk ion negatif (FeOO^-). Dalam penelitian ini, pH sedimen pada bulan Juli, Agustus, dan September nilainya di bawah nilai PZC (6,8), sehingga sedimen akan lebih mudah mengadsorpsi fosfat daripada melepaskan fosfat.

Kandungan fraksi fosfat terlarut dan fraksi fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) dan P-reaktif air pada bulan Juli lebih besar dari pada bulan Agustus, hal ini mungkin disebabkan banyaknya fosfat yang *runoff* ke badan air karena pada bulan Juli masih memiliki curah hujan yang

tinggi dibandingkan bulan Agustus, sehingga meningkatkan kandungan fosfat di badan air. Meningkatnya kandungan P-reaktif air diikuti juga meningkatnya kandungan fraksi fosfat terlarut dan fraksi fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) sedimen, akan tetapi tidak terjadi pada bulan September. Pada bulan September kandungan P-reaktif air mengalami penurunan, akan tetapi kandungan fraksi fosfat terlarut dan fraksi fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) sedimen meningkat dan memiliki kandungan yang lebih besar daripada bulan Juli dan Agustus. Hal ini mungkin disebabkan pada bulan September pH sedimen lebih rendah (Gambar 5.3) yang mengakibatkan ion FeOOH_2 di sedimen lebih banyak, sehingga dapat mengadsorpsi fosfat lebih banyak.



Gambar 5.8 Hubungan fosfat sedimen dengan fosfat badan air



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Distribusi fraksi fosfat terlarut lebih banyak dibandingkan distribusi fraksi fosfat tertukar di Hulu Sub DAS Sumber Brantas.
2. Sedimen di Hulu Sub DAS Sumber Brantas berperan sebagai *sink* (Penyimpan) terhadap ketersediaan fosfat di badan air. Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya kandungan fraksi fosfat terlarut dan fraksi fosfat tertukar (*bioavailable phosphate*) di sedimen daripada kandungan fosfat reaktif (P-reaktif) Air.

6.2 Saran

1. Perlu dilakukan studi lanjut mengenai peran sedimen di hulu DAS Sumber Brantas untuk membandingkan peran sedimen di hulu dengan di hilir.
2. Perlu dilakukan penelitian beserta analisis air di badan air untuk mendapatkan data fosfat dalam air.
3. Perlu dilakukan kajian mengenai logam untuk mengetahui proses adsorpsi fosfat oleh logam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, 1963, **Changes in Inorganic Phosphate Concentration Occurring During Seawater Sample Storage**, *Hydrobiologia*, **12**, 325-328.
- 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.
- Astera, M., 2007, **Cation Exchange Capacity**, <http://soilminerals.com>, diakses pada tanggal 13 Oktober 2013.
- Berner, E.K., Berner, R.A., 1996, **Global Environment: Water, Air, and Geochemical Cycles**, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Bostrom, B.J., Anderson, M., Fleischer, S., Jansson, M., 1988, **Exchange of Phosphorus Across the Sediment-Water Interface**, *Hydrobiologia*, **170**, 224.
- Carignan, R., 1982, **An Empirical Model to Estimate the Relative Importance of Roots in Phosphorus Uptake by Aquatic Macrophytes**, *Can. J. Fish. Aquatic Science*, **39**, 243-247.
- Cheng, X., Zeng, Y., Guo, Z., Zhu, L., 2014, **Diffusion of Nitrogen and Phosphorus Across the Sediment-Water Interface and Seawater at Aquaculture Areas of Daya Bay, China**, *Environmental Research and Public Health*, **11**, 1557-1572.
- Cyio, M.B., 2008, **Efektivitas Bahan Organik dan Tinggi Genangan terhadap Perubahan Eh, pH, dan Status Fe, P, Al Terlarut pada Tanah Ultisol**, *Jurnal Agroland*, **4**, 257-263.
- Correll, D. L., 1998, **The Role of Phosphorus in the Eutrophication of Receiving Waters**, *Journal of Environmental Quality*, **27**, 261-266.
- Dalgado, M., De Jonge, V.N., Peletier, H., 1991, **Experiment on Resuspension of Natural Microphytobenthos Populations**, *Marine Biology*, **108**, 321-328.
- Filippelli, G.M., Souch, C., 1999, **Effects of Climate and Landscape Development on The Terrestrial Phosphorus Cycle**, *Geology*, **27**, 171-174.



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

Golterman, H. L., 2004, **The Chemistry of Phosphate and Nitrogen Compounds in Sediments**, Kluwer Academic Publishers, London.

Haraguchi, A., 2012, **Phosphorus Release from Sediment in a Phragmites Australis Community at the Estuary of the Chikugogawa River, Western Japan**, *American Journal of Plant Sciences*, **3**, 211-215.

Hupfer, M., Lewandowski, J., 2008, **Oxygen Controls the Phosphorus Release from Lake Sediments a Long-Lasting Paradigm in Limnology**, *Internat Rev Hydrobiol*, **93**, 415-432.

Zhang, X., Haiyan, L., Liang, L., Mingyi, L., 2013, **Effect of pH, Temperature, Dissolved Oxygen, and Flow Rate on Phosphorus Release Processes at the Sediment and Water Interface in Storm Sewer**, *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 1-7.

Irayani, Z., Bilalodin, 2007, **Analisis Kandungan Mineral Berpotensi Tinggi pada Pasir Galian di Wilayah Kabupaten Banyumas**, *Molekul*, **2**, 88-91.

Jagessar, R.C., Alleyne, O., 2012, **The Status of Phosphate Anion Concentration in Waste Water from Six Selected Undetermined Areas of Guyana using a Spectrophotometric Method**, *Chemical Environment and Pharmaceutical Research*, **3**, 1-11.

Jin, X., Wang, S., Pang, Y., Chang Wu, F., 2006, **Phosphorus Fractions and the effect of pH on the Phosphorus Release of the Sediment from Different Trophic Areas in Taihu Lake**, *China Environ. Pollut*, **139**(2), 288.

Ketterings, Q., 2007, **Cation Exchange Capacity (CEC)**, <http://nmsp.css.cornell.edu>, diakses pada tanggal 13 Oktober 2012.

Lam, K. C., 2008, **Phosphorus Retention and Release by Sediments in The Eutrophic Mai Po Marshes, Hongkong**, *marine pollution bulletin*, **57**, 249-356.

Lovley, D.R., 1991, **Dissimilatory Fe(III) and Mn(IV) Reduction**, *Microbiological Review*, **52**, 259-287.

Lehtoranta, J., 2003, **Dynamics of Sediment Phosphorus in The Brackish Gulf of Finland**, *Monograf of The Boreal Environment Research*, **23**, 5-18.

Manahan, S.E., 1994, **Environmental Chemistry 6th**, Lewis Publisher.





Maslukah, L., 2013, **Hubungan antara Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dengan Bahan Organik dan Ukuran Butir dalam Sedimen di Estuari Banjir Kanal Barat Semarang**, *Buletin Oseanografi Marina*, **2**, 55-62.

Meis, S., Spears, B. M., Maberly, S. C., O'Malley, M. B., Perkins, R.G., 2012, **Sediment Amenment with Phoslock in Clatto Reservoir (Dundee, UK): Investigating Changes in Sediment Elemental Composition and Phosphorus Fractionation**, *Journal of Environmental Management*, **93**, 185-193.

Radojevic, M., Baskhin V. N., 2006, ***Practical Environmental Analysis***, RSC Publishing, Cambridge.

Ribeiro, C., Madeira, M., Ataujo, M. C., 2002, **Decomposition and Nutrient Release from Leaf Litter of Eucalyptus Globulus Grown Under Different Water and Nutrient Regimes**, *Forest Ecology and Management*, **171**, 31.

Ribeiro, D. C., Martins, G., Nogueira, R., Cruz, J. V., Brito, A. G., 2008, **Phosphorus Fractionation in Volcanic Lake Sediments**, *Chemosphere*, **70**, 1256.

Rumhayati, B., 2010, **Studi Senyawa Fosfat dalam Sedimen dan Air menggunakan Teknik Diffusive Gradient in Thin Films (DGT)**, *Jurnal Ilmu Dasar*, **11**(2), 160-166.

Ruttenberg, K. C., 2004, **The Global Phosphorus Cycle. Tratisse on Geochemistry**. H. D. Holland, KK Turekian and WH. Schlesinger, *Elsevier Pergamon*, 585.

Sarjono, A., 2009, **Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb, dan Hg Pada Air dan Sedimen di Perairan Kamal Muara Jakarta Utara**.

Setiowati, F.K., Rumhayati, B., 2011, **Kajian Distribusi Konsentrasi Fosfat pada Sedimen Sungai Brantas Hulu dengan Menggunakan Teknik DGT (Diffusive Gradient in Thin Film)**, **30**, 125-130.

Stoeppler, M., 1994, **Sampling and Sample Preparation**, Springer, New York.

Suyono, 2012, **Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Perubahan Debit Puncak Banjir di Sub DAS Brantas Hulu**, UGM, Yogyakarta.

Stewart, E. A., 1989, ***Chemical Analysis of Ecological Materials***, Blackwell Scientific Publication, Boston Melbourne.

Syers, J.K., Curtin, D., 1989, **Inorganic Reactions Controlling Phosphate Cycling**, Saskatchewan Institute of Pdeodology, Canada.

