Yth. Dr. Dwi Nugroho Wibowo, MS

(15)

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
Kampus UNSOED Grendeng Kotak Pos 15 Telp. 635292 Pes.139 Purwokerto 51122

SURAT KEPUTUSAN

Nomor Kept. : 179/H23/PL/2008

Tentang
Tugas dan Susunan Pelaksana Penelitian
Fundamental Tahun Anggaran 2008
Di Universitas Jenderal Soedirman

REKTOR UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN

MENIMBANG :
1. Bahwa agar pelaksanaan penelitian Fundamental di Universitas Jenderal Soedirman, tahun anggaran 2008 dapat berjalan dengan lancar dan berdayaguna serta berhasilguna, maka perlu mengangkat pelaksana penelitian yang terdiri dari Staf Edukatif
2. Bahwa untuk maksud tersebut pada butir (1) perlu ditetapkan dengan surat Keputusan Rektor.

MENGINGAT :
1. Undang-undang No. 20 tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional Bab. V pasal 16 ayat (7) dan pasal 22 ayat (2).
2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 60 tahun 1999 tentang Pendidikan Tinggi.
3. Surat Keputusan Presiden RI No. 195 tahun 1963 tentang pendirian Unsoed.
4. Keputusan Presiden No. 170/M Tahun 2005 tanggal 14 Oktober 2005 tentang Pengangkatan Rektor Universitas Jenderal Soedirman.
5. Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Nomor : 015/SP2H/PP/DP2M/III/2008 Tanggal 6 Maret 2008.

MENDENGAR : Saran dan pertimbangan Pimpinan Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto.

MEMUTUSKAN

MENETAPKAN :

Pertama : Menugaskan kepada Staf Edukatif yang namanya tercantum dalam lampiran surat Keputusan ini untuk melaksanakan penelitian yang judul, biaya, waktu penelitian dan tugas dalam penelitian masing-masing tersebut dalam lampiran Surat Keputusan ini selanjutnya disebut PENELITI.

Kedua : Dalam melaksanakan tugasnya PENELITI bertanggungjawab kepada Rektor melalui Ketua Lembaga Penelitian dalam bentuk buku Laporan Hasil Penelitian.

Ketiga : Bagi Kepala Proyek Penelitian yang masih golongan III/d kebawah, pelaksanaan penelitiannya dibawah pengampuan Dekan Fakultas yang bersangkutan.

Keempat : Semua biaya yang timbul akibat dikeluarkannya Surat Keputusan ini dibebankan pada DIPA Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Depdiknas. Nomor : 0145.0/023-04.0/-/2008 tanggal 31 Desember 2007.

Kelima : Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dengan ketentuan apabila dikemudian hari ternyata terdapat kekeliruan akan diadakan perbaikan sebagaimana mestinya

Ditetapkan di : PURWOKERTO
Pada tanggal : 29 April 2008

Rektor,

Prof. Dr. Ir. Sudjarwo
NIP. 130 529 551

Tembusan : Kepada Yth.
1. Menteri Pendidikan Nasional RI di Jakarta
2. Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi Depdiknas di Jakarta
3. Direktur Binlitabmas, Ditjen Dikti Depdiknas di Jakarta
4. Para Pembantu Rektor di lingkungan UNSOED
5. Para Dekan Fakultas di lingkungan UNSOED
6. Para Ketua Lembaga di Lingkungan UNSOED
7. Kepala Biro Administrasi Umum dan Keuangan UNSOED
8. Kepala Bagian Kepegawaian UNSOED
9. Ketua Tim Penilai Angka Kredit UNSOED

LAMPIRAN : Surat Keputusan Rektor Universitas Jenderal Soedirman
No. Kept. : 179/H23/PL/2008 tanggal 29 April 2008 tentang
tugas dan Susunan Pelaksana Penelitian **Fundamental**
Tahun Anggaran 2008

KULTAS BIOLOGI

O.	PERSONALIA	GOL	TUGAS DALAM PENELITIAN	JUDUL PENELITIAN	BIAYA (Rp)	JANGKA WAKTU
1	2	3	4	5	6	7
1	Dr. Bambang Heru Budianto, M.S. Dra. Siti Subadrah Az, S.U.	IVa IVc	Kepala Proyek Peneliti I	Produksi Serkaria Fasciola gigantica dan Keberhasilannya Membentuk Metaserkaria Dari Lymnaea javanica Yang Diberi Sumber Pakan Berbeda	35.000.000	1 tahun
2	Dr. Dwi Nugroho Wibowo, M.S. ✓ Dra. Ahatha Sih Piranti, M.Sc	IVa IIIc	Kepala Proyek Peneliti I	Studi Ekologi Makrofita Akuatik Sebagai Agen Biomonitoring Status Trofik Pada Ekosistem Waduk	30.000.000	1 tahun
3	Dr. Ir. Hery Winarsi, M.S. Dra. Erminawati, M.Sc	IVb IIIc	Kepala Proyek Peneliti I	Karakterisasi Tepung Kelapa dari Berbagai Jenis dan Umur Petik Kelapa	40.000.000	1 tahun
4	Dra. Suhestri Suryaningsih, M.S. Dra. A. Endang Pulungsari, M.Si	IVa IIIb	Kepala Proyek Peneliti I	Keragaman Genetik Kepiting Bakau (Scylla serrata Forsk) di Hutan Bakau Cilacap dan Pemalang, Acuan Untuk Mendapatkan Calon Induk Unggul	30.000.000	1 tahun

REKTOR,

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN REKTOR

Prof. Dr. Ir. Sudjarwo
NIP. 130529551

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
LEMBAGA PENELITIAN
Kampus UNSOED Grendeng II Telp. / Fax. (0281) 625739 Purwokerto 53122

(3)

SURAT PERJANJIAN KERJA PELAKSANAAN PENELITIAN
Nomor : 2366/H23.6/PL/2008

Pada hari ini **Rabu** tanggal **Enam Belas** bulan **April** tahun **Dua Ribu Delapan**, kami yang bertandatangan di bawah ini :

1. **Edy Yuwono, PhD** : Ketua Lembaga Penelitian Universitas Jenderal Soedirman berkedudukan di Purwokerto untuk selanjutnya disebut **PIHAK KESATU**.

2. ***Dr. Dwi Nugroho Wibowo, M.S.*** : Dosen Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman dalam hal ini bertindak selaku Kepala Proyek Penelitian dengan judul :

   "Studi Ekologi Makrofita Akuatik Sebagai Agen Biomonitoring Status Trofik Pada Ekosistem Waduk."

   untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA.**

Kedua belah pihak secara bersama-sama telah sepakat mengadakan perjanjian pelaksanaan penelitian dengan ketentuan sebagai berikut :

Pasal 1

1.1. **PIHAK KESATU** memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA** dan **PIHAK KEDUA** menerima untuk mengkoordinasi dan menyelesaikan pelaksanaan penelitian.
1.2. **PIHAK KEDUA** bertanggungjawab kepada **PIHAK KESATU** tentang tugas dan tanggungjawab penelitian kerjasama sesuai Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian dari Ditjen Dikti nomor : 015/SP2H/PP/DP2M/III/2008 tanggal 6 Maret 2008.

Pasal 2

PIHAK KEDUA bersedia mematuhi Surat Keputusan Rektor UNSOED nomor : 003/H23/OT/2008 tentang Pedoman Pengelolaan Kerjasama Universitas Jenderal Soedirman tanggal 3 Januari 2008.

Pasal 3

Pengelolaan dana kerjasama melalui rekening Lembaga Penelitian nomor Rek. AC 16208 Bank Pembangunan Daerah Jawa Tengah Cabang Purwokerto, Jalan Gatot Subroto 101 Purwokerto.

Pasal 4

Pencairan dana dilaksanakan secara bertahap sebagai berikut :
4.1. Tahap pertama 70 persen sebesar Rp. 21.000.000,- (dua puluh satu juta rupiah) setelah surat perjanjian ini ditandatangani oleh kedua belah pihak.
4.2. Tahap kedua 30 persen sebesar Rp.9.000.000,- (sembilan juta rupiah) setelah **PIHAK KEDUA** menyerahkan laporan hasil penelitian kepada **PIHAK KESATU**.

Pasal 5

5.1. **PIHAK KEDUA** wajib melaksanakan seminar hasil penelitian apabila ditunjuk oleh **PIHAK KESATU**.

5.2. **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan laporan hasil penelitian berupa *"soft copy"* dalam bentuk CD sebanyak 2 buah dan *"hard copy"* sebanyak 6 eksemplar serta abstrak/ringkasan hasil penelitian sebanyak 1 eksemplar kepada **PIHAK KESATU**, selambat-lambatnya 30 Nopember 2008.

5.3. Laporan hasil penelitian harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :
   a. Bentuk/ukuran kertas kuarto;
   b. Warna cover abu-abu;
   c. Pada bagian kulit ditulis "Dibiayai Oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian nomor : 015/SP2H/PP/DP2M/III/2008, tanggal 6 Maret 2008.

Pasal 6

6.1. ***Apabila dalam batas waktu yang telah ditetapkan, PIHAK KEDUA belum menyerahkan Hasil Penelitian tersebut kepada PIHAK KESATU, maka PIHAK KEDUA dikenakan denda sebesar Satu per seribu dari Harga/Nilai Kontrak dimaksud untuk setiap hari keterlambatan dengan denda maksimum sebesar 5% dari Nilai Kontrak seluruhnya.***

6.2. ***Peneliti yang tidak menyerahkan laporan hasil penelitiannya dalam akhir tahun anggaran yang sedang berjalan dan waktu proses pencairan biayanya telah berakhir maka seluruh biaya yang belum sempat dicairkan (30%) dinyatakan hangus / tidak dapat dicairkan.***

Pasal 7

Surat Perjanjian Kerja Pelaksanaan Penelitian ini dibuat rangkap dua.

Pasal 8

Hal-hal yang belum diatur dalam perjanjian ini akan ditentukan oleh kedua belah pihak secara musyawarah.

PIHAK KEDUA,

Dr. Dwi Nugroho Wibowo, M.S.

PIHAK KESATU,

Edy Yuwono, PhD
NIP. 131569004

LAPORAN HASIL PENELITIAN

STUDI EKOLOGI MAKROFITA AKUATIK UNTUK BIOMONITORING STATUS TROFIK EKOSISTEM WADUK

Oleh :

Dr. DWI NUGROHO WIBOWO, M.S.
Dra. AGATHA SIH PIRANTI, M.Sc.

– – – – – – – – –

DIBIAYAI OLEH
PROYEK PENGKAJIAN DAN PENELITIAN ILMU PENGETAHUAN DAN PENELITIAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
SESUAI DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN FUNDAMENTAL
NO: 015/SP2H/PT/DP2M/III/2008 TANGGAL 6 MARET 2008

FAKULTAS BIOLOGI
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
TAHUN 2008

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

1. Judul : **Studi Ekologi Makrofita Akuatik untuk Biomonitoring Status Trofik Ekosistem Waduk**

2. Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap	: Dr. Dwi Nugroho Wibowo, MS
b. Jenis Kelamin	: Laki-laki
c. NIP	: 131 569 036
d. Pangkat/Golongan	: Pembina/IV-b
e. Jabatan Fungsional	: Lektor Kepala
f. Fakultas/Jurusan	: Biologi/Biologi Lingkungan
g. Perguruan Tinggi	: Universitas Jenderal Soedirman
h. Pusat Penelitian	: Lembaga Penelitian Universitas Jenderal Soedirman
3. Jumlah Tim Peneliti	: 2 (dua) orang
4. Lokasi Penelitian	: Waduk PB Soedirman, Kab. Banjarnegara
5. Kerja Sama dengan Institusi Lain	: -
a. Nama Institusi	: -
b. Alamat	: -
6. Masa Penelitian	: 11 bulan
7. Biaya yang Diperlukan	: Rp 30.000.000,00 (Tiga puluh juta rupiah)

Purwokerto, 25 Nopember 2008

Mengetahui.
Dekan Fakultas Biologi Unsoed,

Dra. Purnomowati, SU
NIP. 130 936 607

Ketua Peneliti,

Dr. Dwi Nugroho Wibowo, MS
NIP. 131 569 036

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Jenderal Soedirman,

Drs. Edy Yuwono, Ph.D
NIP. 131 569 004

RINGKASAN

STUDI EKOLOGI MAKROFITA AKUATIK UNTUK BIOMONITORING STATUS TROFIK EKOSISTEM WADUK

Penelitian tentang studi ekologi makrofita akuatik untuk biomonitoring status trofik ekosistem waduk telah dilakukan di Waduk PB Soedirman, Bawang, Kabupaten Banjarnegara. Variabel penelitian diambil dari sembilan stasiun pengamatan terpilih yang mewakili zona *inlet*, tengah, dan *outlet* waduk. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari keragaman makrofita akuatik di waduk PB Soedirman pada zona *inlet*, tengah, dan *outlet* waduk, baik pada musim kemarau maupun musim hujan sebagai upaya mendapatkan biota indikator status trofik ekosistem waduk. Analisis struktur komunitas makrofita akuatik dilakukan dengan mendeskripsikan data keragaman jenis makrofita. Kesamaan karakteristika makrofita akuatik antar zona waduk ditelaah berdasar dendogram kesamaan rata-rata. Variasi karakteristika variabel kualitas air dan makrofita akuatik antar stasiun dikaji dengan analisis multivariat yang didasarkan pada analisis komponen utama, sedangkan distribusi spasial makrofita akuatik dianalisis menggunakan analisis faktorial korespondensi. Berdasarkan variasi karakteristik variabel kualitas air, waduk PB Soedirman termasuk kedalam waduk mesotrof. Keragaman makrofita akuatik di waduk PB Soedirman pada musim hujan menunjukkan keragaman yang rendah (8 jenis), yaitu *Eichhornia crassipes, Hydrilla verticillata, Pistia stratiotes, Lemna minor, Azolla pinnata, Salvinia molesta, Myriophylum verticillatum*, dan *Spirogyra* sp.. Diversitas makrofita akuatik Waduk PB Soedirman pada musim hujan dan musim kemarau tersebar tidak merata antar zone waduk dan terbagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama terdiri atas stasiun III (zone hulu waduk) yang cenderungan didominasi oleh *E. crassipes*. Kelompok kedua terdiri atas stasiun lainnya dengan kehadiran jenis makrofita akuatik yang lebih beragam.

Kata kunci : makrofita akuatik, biomonitoring, status trofik

SUMMARY

ECOLOGICAL STUDY ON AQUATIC MACROPHYTES FOR BIOMONITORING TROPHIC STATUS OF WATER RESERVOIR ECOSYSTEM

An ecological study on aquatic macrophytes for biomonitoring trophic status of water reservoir ecosystem was conducted in PB Soedirman Water Reservoir, Bawang, Banjarnegara Regency. Variables of study were taken from nine selected observation stations representing inlet, middle, and outlet zones both in wet season and dry season. The study was aimed to investigate the diversity of aquatic macrophytes in PB Soedirman Water Reservoir at the three zones in both season in order to obtain bioindicator for trophic status of water reservoir ecosystem. The analysis on community structure of aquatic macrophytes was carried out by describing data on the diversity of aquatic macrophytes species. The similarity of aquatic macrophyte characteristics among zones was analyzed on the basis of average similarity dendogram. The variation of water quality and aquatic macrophyte characteristics among stations was analyzed using multivariate analysis based on the analysis of main component, while spatial distribution of aquatic macrophytes was analyzed using correspondence factorial analysis. Based on the variation of characteristics of water quality, PB Soedirman Water Reservoir belongs to mesotrophic status. Low diversity of aquatic macrophytes in PB Soedirman Water Reservoir in wet season (8 species) was observed, i.e. *Eichhornia crassipes, Hydrilla verticillata, Pistia stratiotes, Lemna minor, Azolla pinnata, Salvinia molesta, Myriophylum verticillatum,* dan *Spirogyra* sp.. Spatial distribution of aquatic macrophytes in terms of their diversity both in the dry and wet season was uneven with patterns which could be devided into two groups. Group 1 was station III (upstream section) showing tendency of being predominated by *E. crassipes*. Group 2 were the other stations showing the presence of more various species of aquatic macrophytes.

Keyword: aquatic macrophyte, biomonitoring, trophic status

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wataa'la., karena berkat rahmat dan petunjuk-Nya, laporan penelitian dengan judul "**Studi Ekologi Makrofita Akuatik untuk Biomonitoring Status Trofik Ekosistem Waduk"** yang diawali dengan penyusunan usulan penelitian, pelaksanaan penelitian, dan penulisan laporan penelitian ini dapat terselesaikan. Penelitian tahun kedua ini dilaksanakan di waduk PB Soedirman, Kabupaten Banjarnegara yang merupakan waduk dengan status trofik oligotrof menuju mesotrof.

Rangkaian penyelesaian usulan penelitian, penelitian, dan penulisan laporan penelitian ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Melalui kesempatan ini, peneliti menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya disertai ucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional atas diberikannya dana Penelitian Fundamental,
2. Ketua Lembaga Penelitian, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto dan jajaranya atas segala bantuannya sehingga kegiatan penelitian ini dapat terselesaikan,

Semoga Allah Subhanahu Wataa'la membalas segala bantuan dan budi baik yang telah diberikan kepada Tim Peneliti disertai harapan semoga laporan ini berguna adanya.

Purwokerto, Nopember 2008

Tim Peneliti

DAFTAR ISI

Halaman

HALAM PENGESAHAN i
RINGKASAN ii
SUMMARY iii
PRAKATA iv
DAFTAR TABEL …… vii
DAFTAR LAMPIRAN ……..……... viii

I. PENDAHULUAN …….. 1

1.1. Latar Belakang ……. 1

1.2. Identifikasi Masalah ……. 4

1.3. Kerangka Pemikiran ……. 6

II. TINJAUAN PUSTAKA ……. 7

2.1. Ekologi Makrofita Akuatik …….. 8

2.2. Makrofita Akuatik sebagai Bioindikator …….. 10

2.3. Fungsi Makrofita Akuatik dalam Ekosistem Waduk ……... 11

2.4. Ekosistem Waduk ……. 13

2.5. Hubungan antara Eutrofikasi dengan Makrofita Akuatik 15

2.6. Faktor Pembatas dalam Eutrofikasi …….. 18

III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN …… 19

3.1. Tujuan Penelitian …….....…….. 19

3.2. Manfaat Penelitian …….....…….. 19

IV. METODE PENELITIAN …….. 20

3.1. Tempat dan Waktu ……... 20

3.2. Bahan dan Alat ……. 20

3.3. Rancangan Penelitian ……... 21

3.4. Pengumpulan Data …… 22

3.5. Analisis Data …… 23

V. HASIL DAN PEMBAHASAN …….. 25
5.1. Morfometri Waduk PB Soedirman……..... 25
5.2. Ekologi Waduk PB Soedirman……..... 28
5.3. Hidromorfologi Waduk PB Soedirman……..... 30
5.4. Profil Kualitas Air …… 31
5.5. Sebaran Spasial Temporal Makrofita Akuatik Waduk PB Soedirman 45

VI. KESIMPULAN DAN SARAN …….. 50
6.1. Kesimpulan …….. 50
6.2. Saran ……. 50

DAFTAR PUSTAKA ……... 51
LAMPIRAN ……. 56

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
4.1.	Variabel kualitas air yang diukur, metode analisis, dan peralatan yang digunakan (APHA, 1985) .....……	21
4.2.	Lokasi pengambilan sampel makrofita akuatik dan sampel air ...	22
5.1.	Profil nilai suhu air, transparansi, TSS Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) ……	32
5.2.	Nilai DHL, pH, dan O_2 Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) .....……	35
5.3.	Kandungan COD dan BOD Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) …….…….....	37
5.4.	Kandungan N-total dan P-total Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) …….....	39
5.5.	Kandungan P-total dan PO_4 Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) …….....	41
5.6.	Kandungan N-total, NH_3, dan NO_3, dan NO_2 Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan)	45
5.7.	Keragaman jenis makrofita akuatik waduk PB Soedirman selama penelitian (musim hujan dan musim kemarai)	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran		Halaman
1.	Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data suhu air, Transparansi, dan TSS Waduk PB Soedirman selama Penelitian ..	56
2.	Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data DHL, pH, dan O_2 selama penelitian ……	56
3.	Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data COD dan BOD selama penelitian ……..……..	57
4.	Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data N total dan P total selama penelitian …….....	57
5.	Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data P total dan PO_4 selama penelitian ..…….……	58
6.	Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data N total, NH_3, dan NO_3 selama penelitian ...…….…….....	58
7.	Akar ciri dan persentase ragam pada sumbu utama dari hasil analisis korespondensi makrofita akuatik dan stasiun pengamatan pada musim kemarau. …….....	59
8.	Akar ciri dan persentase ragam pada sumbu utama dari hasil analisis korespondensi makrofita akuatik dan stasiun pengamatan pada musim kemarau	59
9.	Personalia Peneliti …….....	59
10.	Sarana dan prasarana penunjang penelitian yang dimiliki ..……	60

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Eutrofikasi adalah proses pengayaan unsur hara, terutama nitrogen (N) dan fosfor (P), yang saat ini merupakan fenomena pada perairan danau, waduk, dan sungai dengan kecepatan aliran air (debit, m^3/det) rendah (Abel,1989). Fenomena itu ditandai dengan pertumbuhan makrofita akuatik. Secara alamiah ekosistem perairan akan mengalami suksesi tingkat trofik dari oligotrof (miskin hara) menuju eutrof (kaya hara). Aktivitas manusia dalam bidang pertanian yang saat ini banyak menggunakan pupuk untuk meningkatkan produksinya, bahan organik dan deterjen yang berasal dari limbah cair domestik, serta limbah cair industri mempercepat eutrofikasi.

Proses pengayaan unsur hara pada ekosistem perairan akan menimbulkan perubahan-perubahan parameter fisika-kimia dan biologi. Perubahan parameter fisika antara lain meningkatnya kekeruhan air dan pendangkalan. Perubahan parameter kimia ditandai dengan meningkatnya kadar unsur hara, terutama N dan P, dari status oligotrof menjadi eutrof. Perubahan parameter biologi ditunjukkan dengan meningkatnya diversitas (keanekaragaman) makrofita akuatik yang pada status oligotrof besar dengan biomassa kecil menjadi kecil dengan biomassa besar pada status eutrof atau terjadi dominansi jenis (Harper,1992). Pada status eutrof selalu muncul jenis makrofita akuatik yang dominan dan karateristik.

Makrofita akuatik dikenal dengan istilah lain sebagai gulma air meliputi tanaman paku air, tanaman monokotil, dan angiosperma (Soerjani,1993). Berdasarkan

hasil penelitian Oron (1990, dalam Indarto, 1992) diperoleh informasi bahwa makrofita akuatik adalah tanaman dengan kemampuan penyerapan tinggi terhadap amonia (NH_3), nitrat (NO_3), dan fosfat (PO_4^{3-}). Makrofita akuatik menyerap bahan terlarut, bahan tersuspensi, dan gas-gas terlarut dalam air.

Waduk Panglima Besar Soedirman di Banjarnegara, Jawa Tengah, dibangun pada tahun 1987 dengan cara membendung aliran sungai Serayu. Tujuan utama pembangunan waduk itu adalah fungsinya sebagai Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan kapasitas 700 MW dan sumber air irigasi. Waduk itu mempunyai luas genangan 5,607 ha dengan kedalaman maksimal lebih kurang 80 m. Permukaan air waduk bervariasi antara tinggi maksimal (*Highest Water Level*, HWL) dengan tinggi minimal (*Lowest Water Level,* LWL). Perbedaan antara HWL dan LWL menyebabkan waduk PB Soedirman mempunyai daerah pasang surut yang merupakan habitat makrofita akuatik muncul dan makrofita akuatik tenggelam.

Perubahan ekosistem lotik (sungai) menjadi ekosistem lentik (waduk) menyebabkan meningkatnya pemanfaatan waduk. Aktivitas perikanan budidaya dan pariwisata adalah bentuk pemanfaatan lain dari waduk. Dengan demikian, waduk PB Soedirman merupakan waduk serbaguna sebagaimana tujuan pembuatan waduk pada umumnya. Aktivitas tersebut diperkirakan akan lebih mempercepat proses eutrofikasi.

Secara ekologi, sungai Serayu yang dibendung untuk waduk PB Soedirman ada pada bagian tengah, yaitu antara bagian hulu dan bagian hilir. Bagian hulu sungai berada di pegunungan Dieng, kabupaten Wonosobo, mempunyai arus yang deras dengan substrat dasar berupa batuan. Aktivitas pada bagian itu adalah perkebunan

sayur mayur yang sangat intensif dan perkebunan teh yang banyak menggunakan pupuk anorganik dan organik. Dampaknya, air sungai banyak mengandung unsur hara N, P, dan bahan organik. Pada bagian hulu sungai itu juga terdapat waduk Garung di Kabupaten Wonosobo dan waduk Maung di Kabupaten Banjarnegara. Kedua waduk itu juga berfungsi sebagai PLTA. Bagian hilir sungai berada di kabupaten Cilacap. Daerah aliran sungai (DAS) Serayu dari hulu ke hilir meliputi lima kabupaten, yaitu Wonosobo, Banjarnegara, Purbalingga, Banyumas, dan Cilacap.

Tujuan utama pembangunan waduk PB Soedirman dengan fungsi sebagai PLTA menyebabkan eutrofikasi merupakan musuh utama dari kelestarian peran dan fungsinya. Eutrofikasi menyebabkan pendangkalan yang mengakibatkan kemampuan daya tampung air waduk berkurang. Keberadaan makrofita akuatik berperan juga dalam mempercepat pendangkalan.

Aktivitas manusia dan kegiatan pertanian, permukiman, dan industri yang berada di sekitar daerah aliran sungai (DAS) Serayu memberikan tambahan hara ke dalam waduk, sehingga semakin banyak bahan organik yang akan terakumulasi di dasar waduk. Sedimen itu berasal dari sampah/limbah pemukiman, erosi tanah dari lahan pertanian, perikanan, dan pemukiman. Sedimen tersebut akan meningkatkan volume bahan organik di dasar waduk.

Intensitas perkebunan berdampak antara lain pada meningkatnya populasi manusia yang tinggal di daerah tersebut yang akan menghasilkan limbah domestik. Sebagian besar masyarakat membuang limbah domestiknya ke sungai. Salah satu komponen limbah domestik adalah sabun dan deterjen. Komponen utamanya adalah

minyak nabati dan alkil benzen sulfonat (ABS) dan natrium trifosfat (Na_3PO_4) yang akan memberikan sumbangan pada peningkatan unsur hara P ke dalam air sungai (Said dan Harris, 2000). Unsur P adalah salah satu unsur penting eutrofikasi.

Tata guna lahan dan tata ruang di daerah perkebunan kenyataannya belum memperhatikan aspek konservasi. Hal itu menyebabkan tingginya laju erosi tanah, terutama pada musim hujan. Hasil erosi, antara lain bahan organik tanah, akan dibawa air sungai dan terendapkan di waduk PB Soedirman. Stratifikasi hara secara horisontal dan vertikal memungkinkan perbedaan diversitas makrofita akuatik. Hal itu yang berdasarkan konsep lingkungan yang berbeda akan menghasilkan organisme yang berbeda (Odum, 1971).

1.2. Identifikasi Masalah

Sumber air Waduk PB Soedirman berasal dari air hujan dan aliran sungai Serayu, Merawu, Lumajang, Kandang Wangi, dan sungai-sungai kecil lainnya. Sungai-sungai itu melewati daerah pertanian, perkebunan, permukiman penduduk, dan pesawahan yang membawa limbah pertanian dan rumah tangga. Pemakaian pupuk buatan dan penggunaan sabun dan deterjen merupakan sumber pemasukan hara yang menyebabkan meningkatnya kandungan N dan P (proses eutrofikasi).

Pemantauan kesuburan perairan waduk dapat dilakukan dengan mengetahui sifat fisika-kimia dan biologi. Salah satu sifat fisika-kimia yang berperan dalam tingkat kesuburan suatu perairan adalah kandungan unsur hara (N dan P). Salah satu faktor biologi yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kesuburan suatu perairan adalah diversitas (keanekaragaman) makrofita akuatiknya. Adanya

stratifikasi unsur hara di waduk berpengaruh pada tingkat kesuburan (status trofik) waduk. Keberadaan makrofita akuatik berhubungan erat dengan kandungan hara. Dengan demikian, struktur komunitas makrofita akuatik berkorelasi dengan tingkat kesuburan suatu perairan.

Komposisi makrofita akuatik adalah urutan jenis gulma air yang hidup dan berkembang sejalan dengan ketersediaan hara perairan. Dalam kondisi geologi yang sama, proses eutrofikasi ditentukan oleh ketersediaan hara nitrat (NO_3^-) dan fosfat (PO_4^{3-}). Kenyataan itu dapat menjelaskan bahwa diversitas makrofita akuatik ditentukan oleh distribusi dan stratifikasi ketersediaan hara nitrogen (N) dan fosfor (P). Hara tersebut akan terdistribusi secara vertikal (dari permukaan sampai dasar) dan secara horisontal dari hulu ke hilir badan air yang menyebabkan terjadinya sebaran makrofita akuatik. Makrofita akuatik dengan pola-pola komunitasnya umumnya mencerminkan status trofik air waduk (Jeffries dan Mills, 1990; Kovács, 1992). Pengaruh eutrofikasi terhadap ekosistem perairan adalah penurunan diversitas jenis dan terjadinya perubahan jenis, peningkatan biomasa makrofita akuatik, peningkatan kekeruhan, peningkatan laju sedimentasi, dan perpendekan umur fungsi waduk (Mason, 1991). Informasi tentang makrofita akuatik berkaitan dengan eutrofikasi yang terjadi pada waduk-waduk di Indonesia masih sangat sedikit.

Dari uraian tersebut di atas, permasalahan yang akan dipecahkan melalui penelitian ini adalah :

(1) bagaimanakah diversitas makrofita akuatik pada Waduk PB Soedirman pada bagian *inlet*, tengah, dan *outlet* waduk, baik pada musim kemarau maupun musim hujan;

(2) bagaimanakah pola zonasi makrofita akuatik Waduk PB Soedirman.

1.3. Kerangka Pemikiran

Istilah eutrofikasi digunakan untuk menggambarkan suatu pengaruh biologi dari suatu peningkatan konsentrasi hara, biasanya nitrogen dan fosfor, terhadap suatu ekosistem akuatik (Harper, 1992; Jeffries dan Mills, 1990). Proses eutrofikasi menyebabkan perairan mempunyai kepekatan hara yang tinggi dan kandungan oksigen terlarut yang rendah. Kondisi itu menyebabkan diversitas makrofita akuatik menjadi rendah, artinya pada kondisi itu hanya jenis-jenis tertentu saja yang berkembang (Aboal *et al*., 1996; Bertoli, 1996).

Beberapa kelemahan mendasar monitoring kualitas air dengan menggunakan cara fisika-kimia, adalah membutuhkan peralatan tertentu dan biaya mahal. Monitoring kualitas air waduk dengan cara biologi dapat dilakukan dengan menggunakan makrofita akuatik. Penggunaan makrofita akuatik dapat dilakukan pada tingkat jenis, populasi, komunitas, dan ekosistem,

Perkembangan makrofita akuatik tergantung pada tingkat kesuburan perairan. Kondisi eutrof adalah kondisi puncak bagi perkembangan makrofita akuatik. Harper (1992) menyatakan bahwa hara penyebab eutrofikasi adalah nitrogen dan fosfor. Peningkatan hara tersebut yang terkandung dalam ekosistem waduk sejalan dengan meningkatnya kandungan bahan organik atau meningkatnya jumlah limbah.

Waduk PB Soedirman dibangun untuk keperluan PLTA, irigasi, pariwisata, dan perikanan darat dengan sistem karamba jaring apung. Sejak dibangun, pengelolaan dan pemanfaatan perairan waduk untuk keperluan tersebut belum

didasarkan pada penelitian yang dapat memberikan referensi yang akurat mengenai kesuburan perairan dikaitkan dengan makrofita akuatiknya. Ismail dan Mohamad (1992) menyatakan bahwa tingkat kesuburan suatu perairan dapat dilihat dari kandungan unsur haranya. Unsur hara yang ada dalam perairan waduk dapat berupa bahan-bahan *autotochnous* (dari dalam) maupun *allotochnous* (dari luar) yang dibawa oleh aliran sungai yang masuk atau melalui proses degradasi pelarutan bahan-bahan tersebut dari sistem daratan di sekitar daerah aliran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ekologi Makrofita Akuatik

Makrofita akuatik adalah tumbuhan yang terdiri atas kelompok tumbuhan vaskular, alga, lumut, dan paku air. Tumbuhan itu bereproduksi secara vegetatif dan generatif, yaitu dengan fragmentasi atau pemisahan jasad tumbuhan menjadi bagian-bagian yang kecil yang akan membentuk individu baru dan dengan biji. Selain dengan fragmentasi, reproduksi secara vegetatif juga terjadi dengan bantuan organ khusus seperti rizom, batang, dan umbi (Megie, 1986). Pada umumnya umbi mengandung cadangan makanan dan merupakan sumber makanan yang penting untuk kehidupan air. Pada umumnya makrofita akuatik dibagi menjadi makrofita muncul, makrofita daun terapung, makrofita tenggelam, dan makrofita terapung (Ismail dan Mohamad, 1992).

Perairan yang dangkal dan berarus lambat adalah habitat makrofita akuatik. Pertumbuhan dan perkembangannya akan meningkat sejalan dengan peningkatan proses eutrofikasi. Makrofita mempunyai peran ekologis yang besar. Pada habitatnya, yaitu di kolam, sungai dan sawah, waduk, atau waduk, tumbuhan itu merupakan makanan hewan seperti ikan dan menyediakan substrat yang penting untuk tempat melekatnya alga epifit dan epizoit seperti protozoa dan briozoa (Ismail dan Mohamad, 1992).

Makrofita akuatik mengkonsumsi hara N sebagai nitrat (NO_3^-) dan hara P sebagai fosfat (PO_4^{3-}). Kedua hara tersebut diperlukan untuk pertumbuhan dan reproduksi dalam jumlah yang besar. Hara N diperlukan untuk pembentukan protein dan hara P untuk pembentukan senyawa-senyawa energi tinggi seperti

adenosin trifosfat (ATP). Pada ekosistem air tawar, kedua hara tersebut kadarnya kecil sehingga bersifat alotonik.

Eutrofikasi menyebabkan perairan mempunyai kadar hara yang tinggi dan kandungan oksigen terlarut yang rendah, menyebabkan diversitas tumbuhan dan hewan yang rendah, artinya hanya jenis-jenis tertentu saja yang berkembang (Aboal *et al*., 1996; Bertoli, 1996). Algae yang berkembang adalah *Cyanophyta* yang mengkonsumsi hara N menjadi bentuk yang bisa dikonsumsi oleh makrofita akuatik dan organisme autotrof lain. Eutrofikasi sangat antropogenik, artinya sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia (Gibson *et al*., 1995). Eutrofikasi selalu ditandai dengan meningkatnya NO_3^- dan PO_4^{3-} dalam air.

Makrofita akuatik bisa dijadikan bioindikator untuk menilai kualitas suatu ekosistem perairan (Robach *et al*., 1996), yaitu perairan yang kaya akan NO_3^- dan PO_4^{3-}. Makrofita akuatik menyerap senyawa kimia dalam bentuk terlarut melalui akar dan seluruh bagian talusnya (Ismail dan Mohamad, 1992). Epidermisnya tidak mempunyai kutikula untuk memudahkan penyerapan senyawa kimia tersebut.

Pada perairan dengan status eutrof, untuk mengatasi masalah respirasi, terdapat jenis makrofita akuatik yang mampu menyimpan udara dalam ruang di dalam batang, daun, dan akar, yang menyambung satu sama lain. Sifat air yang sulit menerima dan mengeluarkan panas menyebabkan air itu selalu hangat sehingga makrofita akuatik jarang terdedah oleh turun naiknya suhu perairan. Sebaran tumbuhan itu hanya bergantung pada bahan terlarut, warna dan kejernihan air, dan substrat. Variasi antara ekosistem perairan yang satu dengan yang lainnya tidak menghalangi penyebaran jenis makrofita akuatik yang bersifat

kosmopolit seperti *Potamogeton* sp., *Najas* sp., *Alisma* sp., *Sagittaria* sp., *Lemna* sp., *Ceratophyllum* sp., *Myriophyllum* sp., dan *Utricularia* sp.. Tumbuhan itu mempunyai toleransi yang tinggi terhadap variasi aspek fisika-kimia dan biologi.

Beberapa jenis makrofita akuatik telah digunakan sebagai bioindikator perairan yang tercemar bahan organik dan logam berat. Petunjuk adanya pencemaran tadi adalah terjadinya perbedaan morfologi dan anatomi. Selain sebagai petunjuk adanya pencemaran, makrofita akuatik juga diperlukan untuk menentukan kadar atau jumlah pengambilan hara atau bahan pencemar yang ada dalam jaringan atau organ. Jenis yang sering dipergunakan adalah *Potamogeton* sp., *Nuphar* sp., *Myriophyllum* sp., dan *Elodea* sp. (Emantoko, 2000).

2.2. Makrofita Akuatik sebagai Bioindikator

Bioindikator adalah organisme atau kelompok organisme yang keberadaan atau perilakunya dapat digunakan sebagai petunjuk terjadinya perubahan keadaan lingkungan tertentu. Organisme mengalami perubahan-perubahan sebagai wujud respons dan adaptasi terhadap lingkungan yang berubah. Jenis dan indikasi yang ditunjukkan oleh bioindikator adalah perubahan-perubahan pada : (a) bentuk morfologi eksternal dan internal, (b) fisiologi dan tingkah laku, (c) struktur, komposisi, dan diversitas jenis, serta (d) dominansi jenis.

Makrofita akuatik dapat dijadikan bioindikator melalui distribusinya menurut waktu dan tempat untuk mendeteksi suatu perairan tercemar yang tidak mudah diukur parameter kimianya (Whitton, 1979). Pendugaan atau pemantauan pencemaran dilakukan melalui perbedaan kepekaan terhadap senyawa kimia tertentu.

2.3. Fungsi Makrofita Akuatik dalam Ekosistem Waduk

Makrofita akuatik mempunyai fungsi dalam mempertahankan stabilitas lingkungan waduk, selain karena merupakan sumber makanan bagi hewan-hewan akuatik, juga sebagai sumber detritus untuk organisme saprotrof di daerah litoral. Komunitas yang tepat pada suatu ekosistem waduk akan menjalankan peran yang nyata terhadap kualitas lingkungannya. Daerah litoral merupakan daerah ekoton antara daratan dan daerah air waduk. Lebar daerah itu bervariasi, bergantung pada geomorfologi waduk dan laju sedimentasi yang terjadi sejak permulaan pembangunan waduk.

Makrofita akuatik di daerah litoral seringkali dibagi menjadi makrofita di tiga daerah litoral yang berbeda. Di daerah yang lebih dangkal hingga kedalaman sekitar 1 m terdiri atas makrofita muncul yang memanfaatkan bahan organik dari daerah terestrial dan habitat akuatik. Ketersediaan hara dan air yang tinggi dari sedimen serta ketersediaan O_2 dan CO_2 dari atmosfer menghasilkan pertumbuhan makrofita yang tinggi. Daerah di bawahnya dengan kedalaman antara 1m hingga 3 m merupakan daerah litoral yang ditumbuhi oleh jenis berdaun mengapung. Tumbuhan tersebut biasanya bersifat perenial yang berakar dengan rizom yang panjang. Daerah di bawahnya lagi dengan kedalaman hingga batas daerah afotik merupakan daerah makrofita tenggelam dan jarang tumbuh pada kedalaman 10 m (Caduto, 1985; Rieley dan Page, 1990).

Makrofita akuatik akan menstabilkan sedimen atau pinggiran waduk sehingga meningkatkan sistem drainase, menyediakan tempat berlindung, substrat, dan makanan bagi hewan-hewan invertebrata, tempat berlindung ikan, melindungi beberapa ikan saat bertelur, serta menyediakan makanan untuk ikan

dan burung. Tumbuhan itu berperan penting dalam siklus hara dan penjernihan air. Beberapa jenis tumbuhan itu dapat digunakan sebagai bahan makanan dan obat-obatan serta tanaman hias.

Akar dan rizom makrofita serta biomassanya dapat menangkap dan membentuk sedimen sehingga dapat menurunkan kekeruhan air dan memperlambat kecepatan aliran air. Makrofita muncul dapat menstabilkan substrat pada tepi dan dasar perairan. Di tepi perairan, makrofita akuatik dapat mencegah erosi sehingga mengurangi biaya pemeliharaan tepi perairan.

Makrofita mengapung dapat mengganggu mobilitas perahu atau kapal, sedangkan makrofita melayang seperti *Hydrilla* sp. dapat mengganggu baling-baling perahu motor. Karena perahu atau kapal mempunyai beberapa fungsi seperti transportasi dan perikanan, jenis kerugian dapat terjadi pada berbagai cara. Dengan adanya makrofita akuatik, transportasi menjadi sukar dan menimbulkan kerugian.

Pengaruh langsung terhadap kualitas air merupakan aspek penting yang umumnya diabaikan. Pada kondisi perairan dengan kepadatan tanaman yang rapat, kandungan oksigen terlarut menurun, pH turun, kandungan CO_2 meningkat, dan suhu rendah (Soerjani, 1977). Hal itu mengakibatkan kemampuan alami badan air yang lebih rendah dalam menyerap bahan organik dan mengakibatkan terjadinya pembusukan dan kondisi berbau sehingga kandungan CO_2 meningkat (Sastroutomo, 1986). Laju produksi bahan organik oleh makrofita akuatik yang tinggi berakibat adanya akumulasi bahan organik dalam badan air. Dekomposisi tanaman yang mati berlangsung secara lambat dan daun-daun masih tampak utuh untuk beberapa bulan.

2.4. Ekosistem Waduk

Waduk, danau, dan bendungan adalah salah satu teknologi penyediaan air dengan cara membendung sungai dalam rangka perlambatan aliran air permukaan menuju laut. Fungsi utamanya adalah sebagai penyimpan air, pengambilan air, serta pembawa air. Di Indonesia terdapat 55 buah bendungan besar dan kecil (Moeljono, 1995).

Perubahan sungai menjadi waduk atau bendungan menimbulkan perubahan morfologi badan air dan hal itu menentukan tingkat pengaruh pencemaran (Siregar, 1995). Salah satu hal utama ialah waktu detensi pencemaran waduk yang berbeda dengan aliran sungai sehingga pengaruhnya terhadap metabolisme dan fungsi badan air tersebut lebih besar. Pencemaran waduk, waduk, dan bendungan menimbulkan beberapa masalah, antara lain pendangkalan, ledakan pertumbuhan makrofita akuatik, dan menurunnya produksi ikan. Kerugian yang ditimbulkan lebih besar pada bendungan serba guna. Pengelolaan DAS bagian hulu merupakan hal yang penting dalam rangka pengelolaan bendungan sehubungan dengan masalah pencemaran.

Pengertian waduk atau waduk serba guna adalah waduk atau waduk yang mempunyai fungsi sebagai (1) pengendali banjir, (2) pembangkit listrik, (3) penyediaan air irigasi, (4) sarana pariwisata, dan (5) sarana produksi ikan. Dari kelima fungsi tersebut, tiga fungsi yang disebutkan pertama adalah fungsi pokok, sedangkan dua fungsi yang lain merupakan fungsi tambahan. Pariwisata dan perikanan merupakan fungsi tambahan karena belum ada usaha membangun waduk khusus untuk tujuan-tujuan tersebut. Meskipun tidak termasuk ke dalam

fungsi pokok waduk atau waduk serba guna, kedua kegiatan itu merupakan kegiatan yang penting dan perlu dikembangkan di perairan waduk.

Waduk dibangun untuk sesuatu keperluan atau tujuan agar dapat berfungsi cukup lama, paling tidak untuk suatu kurun waktu yang telah diperhitungkan sebelumnya. Dalam istilah teknis disebut dengan *life time* atau umur fungsi. Tergantung pada maksud dan tujuan pembangunan serta situasi dan kondisi daerahnya, umur fungsi waduk telah diperhitungkan untuk 50 – 100 tahun (Soewignjo, 1980). Jika waduk tersebut dapat berfungsi sesuai dengan umurnya, pembangunan waduk benar-benar telah mencapai sasarannya. Dengan perkataan lain, dapat diartikan bahwa biaya pembangunan waduk telah dapat tertutup oleh keuntungan yang diperolehnya. Satu-satunya cara untuk dapat mencapai tujuan tersebut adalah dengan meningkatkan pemanfaatan waduk yang disertai tindakan-tindakan yang mengarah pada penjagaan kelestariannya.

Musuh utama dari umur fungsi waduk adalah pendangkalan yang tidak dapat dicegah karena hal itu merupakan hukum alam (Odum, 1971). Yang dapat diusahakan adalah menghambat laju proses pendangkalan tersebut. Pendangkalan diakibatkan oleh kegiatan di DAS dan di kawasan waduk. Pengurangan lahan hutan, jenis tata guna lahan, dan intensifikasi pertanian dapat menimbulkan erosi yang berakibat percepatan proses pendangkalan. Kegiatan perikanan dan pariwisata yang dilakukan secara tidak terarah di perairan waduk dapat pula mempercepat proses pendangkalan. Faktor alam yang dapat berperan dalam proses pendangkalan dibagi menjadi faktor fisika-kimia dan faktor biologi. Satu contoh faktor fisika adalah angin yang di perairan akan mengakibatkan adanya gelombang. Sibakan gelombang pada tepian waduk dapat melongsorkan pinggiran

waduk. Faktor kimia antara lain adalah sifat kesadahan air. Kondisi kesadahan air yang tinggi akan mempercepat laju pengendapan koloid lumpur yang merupakan bahan utama pendangkalan (Soewignjo, 1980). Faktor biologi adalah makrofita akuatik yang secara langsung dan tidak langsung dapat mempercepat laju sedimentasi. Secara langsung adalah makrofita akuatik itu sendiri atau sisa-sisanya yang akan menggumpal atau terkumpul di dasar perairan. Secara tidak langsung adalah kemampuan makrofita akuatik untuk menahan gerakan arus air sehingga partikel lumpur yang terbawa air mendapat kesempatan untuk mengendap. Waduk adalah tempat untuk menampung air. Oleh sebab itu, waduk harus dalam kondisi kapasitas tampung yang maksimal. Artinya, waduk tidak mengandung terlalu banyak bahan nonair. Untuk kelestarian waduk, persyaratan kebersihan perairan hendaknya dijadikan pedoman pokok dalam pengelolaan waduk.

2.5. Hubungan antara Eutrofikasi dengan Makrofita Akuatik

Proses eutrofikasi menyebabkan naiknya kandungan klorofil a dalam badan air (Sahlan, 1985). Organisme renik yang mengandung klorofil a adalah bakteri dan alga biru-hijau. Makrofita akuatik adalah paku air, spermatofita, ganggang, dan berbagai jenis tumbuhan monokotil yang tumbuh dalam air. Proses eutrofikasi yang mempunyai faktor pembatas hara N dan P menyebabkan perbandingan kedua hara tersebut atau rasio N/P menentukan komposisi jenis makrofita dalam badan air.

Pada N/P rendah, yang hidup adalah organisme yang mempunyai kemampuan mengikat seperti alga biru-hijau yang menyebabkan jenis fitoplankton tersebut menjadi dominan. Pada kondisi suhu yang tinggi atau di

daerah dengan empat musim, suhu yang tinggi di musim panas menimbulkan kompetisi di antara organisme-organisme tadi sehingga organisme yang membutuhkan sinar yang sedikit atau dapat secara efektif berfotosintesis pada keadaan ternaungi merupakan organisme yang dominan.

Selain pengaruh suhu, kondisi spektrum sinar matahari menentukan komposisi jenis makrofita akuatik dalam ekosistem air. Pada kondisi penutupan, spektrum sinar matahari didominasi oleh sinar ultra violet. Dari keterangan di atas, tumbuhan yang mempunyai pigmen atau klorofil yang tidak rusak oleh pancaran ultra violet yang tinggi adalah organisme yang mampu beradaptasi dengan lingkungannya atau tumbuhan yang dominan dalam keadaan tersebut. Selanjutnya eutrofikasi menyebabkan kehilangan sedimen kecil dan terjadinya efek alelopati. Efek itu menyebabkan tidak ada organisme lain yang dapat tumbuh jika suatu organisme ada (Mitchell, 1994)

Kondisi perairan yang terbuka, artinya *flux* sinar matahari dapat berlangsung penuh, kaya hara dan tidak ada efek dinamika seperti ombak dan gelombang, merupakan habitat makrofita akuatik (Soewignjo, 1980). Dengan demikian, kondisi kaya hara dan detritus dan *flux* cahaya yang penuh adalah persyaratan tumbuh makrofita akuatik. Oleh sebab itu, dalam ekosistem perairan mengalir seperti sungai dan selokan, kondisi kaya unsur hara tidak menyebabkan tumbuh dan berkembangnya makrofita akuatik mengapung, melainkan akan menyebabkan tumbuh dan berkembang alga filamen yang merupakan makrofita akuatik tenggelam.

Dari akumulasi hara dan kondisi lingkungan perairan akan terjadi kompetisi atau persaingan antara makrofita akuatik dengan fitoplakton.

Mekanisme sederhana persaingan tersebut adalah bahwa bertambahnya hara menyebabkan populasi plankton bertambah dan menyebabkan turunnya intensitas cahaya matahari dalam badan air yang kemudian adanya naungan dari fitoplankton menyebabkan makrofita akuatik yang ada di substrat berkembang walaupun naungan bukan salah satu faktor pembatas.

Biasanya yang sering terjadi adalah dengan bertambahnya hara, fitoplankton tidak akan berkembang selama makrofita berkembang akibat biomassa makrofita akuatik akan berkembang karena akan lebih cepat mengkonsumsi hara. Selain itu, pertumbuhan fitoplankton dikontrol oleh zooplankton sebagai pemangsanya.

Populasi zooplankton akan berkembang sejalan dengan berkembangnya makrofita karena makrofita merupakan rumpang (*host*) bagi zooplankton. Sebab yang lain adalah kemungkinan makrofita akuatik akan mengeluarkan sekresi (*inhibitor*) atau penghambat pertumbuhan fitoplankton.

Menurut Mitchell (1994), tidak selamanya terjadi proses kompetisi seperti yang dijelaskan di muka. Setelah tumbuh dan berkembang, yang kemudian diikuti kematian, makrofita justru menghasilkan hara yang dapat memacu pertumbuhan fitoplankton. Sementara itu, dari keterangan di atas akan terjadi semacam *buffer* (*buffer capacity*) dari makrofita akuatik untuk meningkatkan konsentrasi nutrisi. Jika hal itu terjadi, perubahan komposisi dari makrofita akuatik ke fitoplankton akan berjalan cepat dalam kondisi yang stabil akibat adanya kapasitas *buffer* tersebut.

2.6. Faktor Pembatas dalam Eutrofikasi

Faktor pembatas dalam proses eutrofikasi mengikuti hukum minimum Liebig (Odum, 1971), yaitu bahwa pertumbuhan makrofita akuatik dibatasi oleh hara esensial yang dibutuhkan berada dalam konsentrasi yang sangat kecil. Konsekuensi dari konsep hukum minimum Liebig adalah adanya hara yang secara absolut harus ada dan adanya hara relatif yang merupakan regulator pertumbuhan biomassa makrofita akuatik.

Konsep yang disebutkan diatas mendukung hubungan kuantitatif antara konsentrasi hara dengan biomassa makrofita akuatik. Permasalahannya harus dibedakan antara produktivitas perairan dengan biomassa karena produktivitas bukan masalah eutrofikasi, semata-mata hanyalah menyangkut biomassa.

Fosfor terlarut dalam air dan nitrogen anorganik menjadi faktor pembatas. Keberadaan/ketersediaan N dan P yang merupakan jumlah kandungan hara merupakan salah satu cara untuk mengetahui intensitas proses eutrofikasi yang akhirnya akan menentukan jumlah biomassa makrofita akuatik.

III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian adalah untuk mendapatkan informasi tentang diversitas makrofita akuatik di Waduk PB Soedirman pada musim kemarau dan musim hujan. Hal itu sangat penting untuk program pengelolaan waduk sehubungan dengan adanya proses eutrofikasi.

Tujuan khusus penelitian adalah :

(1) mempelajari keragaman makrofita akuatik di Waduk PB Soedirman pada bagian *inlet*, tengah, dan *outlet* waduk, baik pada musim kemarau maupun musim hujan;

(2) mempelajari pola zonasi makrofita akuatik Waduk PB Soedirman.

3.2. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah didapatkannya informasi tentang diversitas makrofita akuatik di Waduk PB Soedirman yang dapat digunakan untuk mengetahui status trofik waduk. Informasi itu penting untuk pengelolaan waduk sehingga umur fungsi waduk dapat dilestarikan. Pelestarian umur fungsi waduk akan berdampak pada pola tata guna dan konservasi air.

Status trofik waduk dapat diketahui dari pengukuran parameter fisika-kimia dan biologi. Pengukuran parameter biologi dapat menggambarkan proses eutrofikasi dalam jangka waktu yang lama. Pengukuran parameter fisika-kimia hanya menggambarkan kejadian sesaat. Dengan adanya informasi itu, akan dapat ditentukan biota indikator (makrofita akuatik) proses eutrofikasi secara mudah, cepat, dan murah sehingga waduk dapat dikelola secara baik.

IV. METODE PENELITIAN

4.1. Tempat dan Waktu

Penelitian mengenai studi ekologi makrofita akuatik untuk biomonitoring status trofik waduk yang dilaksanakan di waduk PB Soedirman, Kecamatan Bawang, Kabupaten Banjarnegara dilaksanakan pada musim hujan dan musim kemarau tahun 2008. Pengambilan sampel makrofita akuatik dilaksanakan di daerah eufotik waduk. Identifikasi jenis, pengukuran biomassa makrofita akuatik, dan pengukuran parameter kimia air (Tabel 4.1) dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Laboratorium Ekologi Fakultas Biologi UNSOED. Pengukuran pH, suhu air, Daya Hantar Listrik (DHL), kandungan O_2, dan transparansi dilakukan secara *in situ* di waduk.

4.2. Bahan dan Alat

Untuk penentuan parameter fisika-kimia air yang ditentukan melalui sampel air digunakan bahan kimia. Sampel makrofita yang menjadi objek penelitian diambil dari waduk PB Soedirman, Kecamatan Bawang, Kabupaten Banjarnegar dengan keragaman tertentu.

Alat yang digunakan adalah alat-alat yang diperlukan di laboratorium dan di lapang, yaitu termometer, botol winkler, *water sampler*, pH meter, turbidimeter, spektrofotometer, gelas ukur, gelas piala, buret, pipet ukur, inkubator BOD, DO meter, oven, timbangan analitik, penangas, luasan yang terbuat dari kayu dengan ukuran 1 m x 1 m (kuadrat), dan kertas saring Whatman No. 41.

Tabel 4.1. Variabel kualitas air yang diukur, metode analisis, dan peralatan yang digunakan (APHA, 1985).

No.	Parameter Kualitas Air (satuan)	Metode Analisis	Peralatan
	Fisika		
1.	TSS (mgL^{-1})	Gravimetri	Timbangan analitik
2.	DHL ($\mu mhos\ cm^{-1}$)	Potensiometri	Konduktivitimeter
3.	Transparansi (cm)	Organolepti	Keping Secchi
4.	Suhu air (^oC)	Pemuaian	Termometer
	Kimia		
5.	O_2 terlarut (mgL^{-1})	Potensiometri	DO meter
6.	pH	Potensiometri	pH meter
7.	NO_2-N (mgL^{-1})	Spektrofotometri	Spektrofotometer
8.	NO_3-N (mgL^{-1})	Spektrofotometri	Spektrofotometer
9.	NH_3-N (mgL^{-1})	Spektrofotometri	Spektrofotometer
10.	PO_4^3-P (mgL^{-1})	Spektrofotometri	Spektrofotometer
11.	N-total (mgL^{-1})	Spektrofotometri	Spektrofotometer
12.	P-total (mgL^{-1})	Spektrofotometri	Spektrofotometer
13.	COD (mgL^{-1})	Titrimetri	Buret
14.	BOD (mgL^{-1})	Titrimetri	Buret
	Biologi		
15.	Makrofita akuatik	Kuadrat	Timbangan analitik

4.3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode survei dan data sampel air dan makrofita akuatik diambil secara *selected sampling site*. Sampel air dan makrofita akuatik diambil masing-masing dari tiga stasiun pengamatan sampel untuk setiap zona horisontal waduk, yaitu *inlet*, tengah, dan *outlet* (Tabel 4.2), pada musim kemarau dan musim hujan. Data dianalisis berdasarkan rancangan petak terbagi pola bifaktorial dengan musim (kemarau dan hujan) sebagai faktor petak utama, zona-zona horisontal rawa (*inlet*, tengah, dan *outlet*) sebagai faktor anak petak (Steel dan Torrie, 1985). Pengambilan data dilakukan sekali sebulan dalam tiga

bulan berurutan. Data yang dikumpulkan adalah data-data variabel fisika-kimia air, plankton, serta keragaman dan biomassa makrofita akuatik.

Tabel 4.2. Lokasi pengambilan sampel makrofita akuatik dan sampel air.

No.	Zone	Stasiun	Lokasi
1.	*Inlet*	I	Daerah muara sungai Kandang Wangi
2.		II	Daerah muara sungai Lumajang/Merawu
3.		III	Daerah hulu waduk sungai Serayu
4.	Tengah	IV	Daerah dermaga
5.		V	Daerah tengah waduk
6.		VI	Daerah karamba
7.	*Outlet*	VII	Daerah *Power Intake*
8.		VIII	Daerah *Spill Way*
9.		IX	Daerah Buangan Irigasi

Metode pengambilan sampel air yang digunakan untuk penetapan kualitas fisika-kimia air adalah *grab sampling* yang mewakili karakteristika air pada waktu tertentu. Metode analisis dan variabel yang dipergunakan pada penetapan kualitas air tertera pada Tabel 4.1.

4.4. Pengumpulan Data

Pengambilan sampel makrofita akuatik dan sampel air dilakukan di daerah eufotik. Penentuan kedalaman daerah eufotik dilakukan dengan metode keping Secchi. Di daerah eufotik untuk masing-masing stasiun pengamatan dibuat kuadrat dengan ukuran (1 x 1) m^2. Dari kuadrat itu diambil makrofita akuatik mengapung dan makrofita akuatik tenggelam. Makrofita diambil dari air dan dimasukkan dalam kantung plastik untuk kemudian dilakukan identifikasi jenis dan penimbangan biomasa (bobot kering, kg/m^2). Bersamaan dengan

pengambilan makrofita akuatik dilakukan pengambilan sampel air. Keragaman makrofita akuatik dinyatakan dalam jumlah jenis yang ditentukan pada tingkat jenis.

4.5. Analisis Data

Data variabel yang ditetapkan dianalisis secara statistik, sedangkan data/ informasi lain dinyatakan secara deskriptif. Variasi variabel kualitas air dalam kaitannya dengan kelimpahan makrofita akuatik dikaji dengan pendekatan analisis multivariat yang didasarkan pada analisis komponen utama (*Principal Component Analysis*, PCA) menurut Legendre dan Legendre (1983) dan Bengen (2000). Analisis itu digunakan dengan pertimbangan bahwa ordinansi jenis dalam ekosistem dapat dijelaskan dengan lebih tepat dari pada parameter fisika-kimia (Clarke dan Warwick, 1994). Sebaran makrofita akuatik berdasarkan variasi variabel habitat dianalisis dengan menggunakan teknik statistika multivariat yang didasarkan pada analisis faktorial korespondensi (*Factorial Correspondence Analysis, CA*) menurut Legendre dan Legendre (1983) dan Bengen (2000). Analisis itu didasarkan pada matriks data yang terdiri atas baris (jenis makrofita akuatik) dan kolom (stasiun). Perhitungan analisis komponen utama dan analisis faktorial korespondensi tersebut dilakukan dengan menggunakan paket statistik *Xlstat* versi 7.

Keragaman makrofita akuatik diperlukan untuk menerangkan keberadaan jumlah individu yang tidak sama antar jenis dalam suatu komunitas. Keragaman

tersebut ditentukan dengan menghitung jumlah jenis dan kelimpahannya per satuan luas atau volume (Harper, 1992; Odum, 1994; dan Krebs, 1989).

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Morfometri Waduk PB Soedirman.

Waduk PB Soedirman, Banjarnegara, digenangi pertama kali pada bulan April 1988 dengan luas genangan 8.415.275 m^2 pada HWL (*Highest Water Level*) +231 m dpl dengan kapasitas tampung 141.247.687,5 m^3. Waduk itu digunakan untuk menggerakkan 3 unit turbin pembangkit listrik dengan kapasitas masing-masing 61,50 MW dengan menghasilkan daya listrik sebesar 580.000 MK HW per tahun. Penggunaan lain waduk PB Soedirman adalah untuk wisata air, perikanan, dan irigasi.

Waduk PB Soedirman dibangun dengan cara membendung sungai Serayu di bagian tengah, antara bagian hulu di kabupaten Wonosobo dan bagian hilir di kabupaten Cilacap. Di daerah aliran sungai (DAS) Serayu curah hujan tinggi dengan tingkat erosi yang tinggi. PT PLN Pembangkitan Jawa Bali (1998) menyatakan bahwa daerah tangkapan air (DTA) DAS Serayu seluas 957 km^2, pembagiannya adalah DTA Serayu seluas 678,31 km^2, DTA Merawu seluas 218,60 km^2, DTA Lumajang seluas 8,00 km^2, dan DTA Waduk seluas 52,00 km^2. Keseluruhan DTA berada di dataran tinggi sehingga perbedaan tinggi tempat menyebabkan sungai dan anak-anak sungainya berarus deras.

Keberadaan anak-anak sungai Serayu dan sungai-sungai lain yang merupakan sumber air waduk PB Soedirman adalah DAS Serayu yang terdiri atas Sub-DAS Tulis dan Sub-DAS Sigaluh, DAS Merawu dengan Sub-DAS Urang, DAS Lumajang

dengan Sub-DAS Pekandangan, beserta sungai-sungai kecil sekitar waduk seperti sungai Kandang Wangi.

Laju erosi yang tinggi di DAS Serayu menyebabkan kekeruhan air sungai itu tinggi. Karena banyak melewati tanah kapur, air sungai bersifat alkalis. Erosi menyebabkan laju sedimentasi yang tinggi. Sedimen yang masuk ke waduk dikelompokkan menjadi tanah liat atau debu, lumpur, pasir halus, kerikil halus, dan batu koral. Kandungan pasir yang cukup besar menyebabkan bagian hulu waduk menjadi daerah penambangan pasir (PT PLN Pembangkitan Jawa Bali, 2004).

Bahan organik sedimen yang sudah menempati bagian dasar waduk mengalami proses degradasi menjadi NO_3 dan PO_4. Kedua unsur hara tersebut menyebabkan proses eutrofikasi yang akan mempengaruhi kekayaan jenis, kemerataan, dan biomassa makrofita akuatik.

Perbedaan volume tampung waduk menyebabkan munculnya zona litoral (daerah pasang surut). Di daerah pasang surut terdapat suksesi geomorfologi dari lumpur lunak (*mud-flat*) menjadi substrat keras. Pada lumpur lunak, pertumbuhan *Eichhornia crassipes* dan *Pistia stratiotes* dipercepat. Jenis *Mimosa pigra* mendominasi daerah substrat keras. Pada bagian hulu waduk daerah pasang surut berupa lumpur lunak dengan pertumbuhan *E. crassipes*, *Pistia* sp., dan *Salvinia molesta*. Daerah pasang surut yang landai dan luas berada di bagian utara waduk dan bagian utara serta selatan hulu waduk ditumbuhi jenis rumput *Paspalum* sp. dan *Mimosa pigra*.

Waduk PB Soedirman menampung air dari berbagai sungai dengan kualitas air yang bervariasi. Sebelum masuk waduk, alur aliran sungai-sungai dipasang jaring

dengan tujuan untuk menjaring sampah yang berasal dari sungai-sungai tersebut. Setelah melewati jaring, arah aliran air ke utara menuju daerah perikanan budidaya (karamba jaring apung), kemudian terurai di tengah-tengah waduk, dan akhirnya menuju hilir.

Penelitian tentang makrofita akuatik di daerah calon waduk PB Soedirman dilakukan pada tahun 1982. Informasi yang diperoleh sudah menunjukkan adanya gejala eutrofikasi di calon waduk. Makrofita yang ditemukan adalah jenis yang pertumbuhannya cepat, seperti *Cyperus* sp. dan *Frimbistilis* sp.. Keanekaragaman jenis bertambah dengan munculnya jenis yang berasal dari luar seperti *Salvinia molesta* dengan penyebaran yang luas dan tumbuh di perairan yang tenang atau di bagian teluk dari waduk.

Pada tahun 1981, *Eichhornia crassipes* belum ditemukan di calon waduk (Lembaga Ekologi UNPAD, 1981). Sekarang, jenis itu sudah sangat mendominasi, terutama bagian *inlet* sebelum jaring penangkap sampah. Keberadaan jenis itu merupakan indikator waduk PB Soedirman mengalami eutrofikasi.

Permasalahan yang dihadapai waduk PB Soedirman adalah masalah degradasi lingkungan yang sudah berlangsung cukup lama. Degradasi lingkungan itu terjadi sebagai akibat adanya proses pendangkalan dasar waduk oleh sedimen yang berasal sampah/limbah permukiman, dan erosi tanah dari lahan pertanian, permukiman, dan luar sungai (Prihartanto, 2005).

5.2. Ekologi Waduk PB Soedirman

Berdasarkan fungsinya, waduk PB Soedirman adalah waduk serbaguna. Pada umumnya waduk serbaguna berfungsi sebagai pembangkit listrik, penyedia air untuk irigasi, pengendali banjir, pariwisata, dan sarana produksi ikan. Pariwisata dan perikanan adalah fungsi tambahan karena belum ada usaha membangun waduk khusus untuk tujuan-tujuan tersebut. Kedua kegiatan tersebut tidak termasuk dalam fungsi pokok waduk serbaguna, namun merupakan kegiatan yang penting dan perlu dikembangkan agar fungsi keserbagunaan benar-benar tercapai.

Waduk mempunyai *life time* (umur fungsi), yaitu suatu kurun waktu waduk dapat berfungsi seperti tujuan pembangunannya. Cara untuk dapat melestarikan umur fungsi adalah dengan peningkatan pemanfaatan yang disertai dengan tindakan yang mengarah pada penjagaan kelestarian.

Musuh utama umur fungsi waduk adalah sedimentasi yang menyebabkan pendangkalan. Proses itu tidak dapat dicegah karena merupakan hukum evolusi alam (Odum, 1971). Yang dapat diusahakan adalah menghambat proses pendangkalan tersebut.

Faktor alam yang dapat mempercepat proses pendangkalan waduk dapat dibagi dalam tiga bagian, yaitu fisika, kimia, dan biologi. Faktor fisika adalah angin yang di dalam perairan waduk menjadi gelombang. Adanya gelombang dapat melongsorkan tanah pinggiran waduk. Kesadahan adalah faktor kimia dan kesadahan yang tinggi akan mempercepat laju koagulasi koloid lumpur yang merupakan bahan utama pendangkalan. Makrofita akuatik adalah faktor biologi. Tumbuhan itu secara langsung atau tidak langsung meningkatkan laju pendangkalan. Secara langsung

adalah bagian tumbuhan akan mengumpul atau terkumpul di bagian perairan waduk yang menimbulkan sedimentasi. Secara tidak langsung adalah kemampuan makrofita akuatik untuk menahan gerakan arus air sehingga partikel lumpur yang terbawa air mendapat kesempatan untuk mengendap.

Menilik keadaan lingkungan di sekitar waduk yang merupakan daerah terbuka, faktor angin sangat berperan pada pergerakan air waduk. Karenanya besar kemungkinan waduk akan senantiasa bersifat polimiktik (berarus) sepanjang tahun akibat pengadukan angin. Kondisi itu menyebabkan unsur hara tersebar secara merata dari *inlet* ke *outlet* waduk.

Fosfat dan nitrat, yang merupakan faktor pembatas eutrofikasi, di waduk PB Soedirman termasuk tinggi. Berdasarkan kriteria Croome *et al.* (1978), perairan yang mengandung 5 – 10 mgL^{-1} fosfat dan 20 – 400 mgL^{-1} nitrat adalah perairan yang potensial tidak subur sehingga waduk PB Soedirman termasuk perairan yang subur. Hal itu menunjukkan bahwa aktivitas antropogenik seperti perkebunan, pertanian, industri, dan limbah domestik sangat menentukan eutrofikasi waduk PB Soedirman.

Secara alamiah kandungan hara akan mengalami peningkatan atau secara evolusi waduk bersuksesi dari status oligotrof ke status eutrof. Karakteristika waduk dengan status oligotrof adalah dengan kekayaan jenis, kemerataan, dan biomassa makrofita akuatik di daerah litoral jarang atau sedikit. Waduk dengan status eutrof dengan karateristik vegetasi makrofita akuatik di daerah litoral padat. Perubahan status oligotrof menjadi eutrof diikuti perubahan kekayaan jenis, kemerataan, dan biomassa makrofita akuatik (Abel, 1989).

Berdasarkan kriteria Croome *et al.* (1978), perairan yang mengandung 5 – 10 mgL^{-1} fosfat dan 20 – 400 mgL^{-1} nitrat adalah perairan yang potensial subur. Waduk P Soedirman termasuk perairan yang potensial yang subur. Hal itu ditunjukan adanya aktivitas antropogenik seperti perkebunan, pertanian, industri, dan limbah domestik masyarakat sekitar waduk yang sangat menentukan eutrofikasi Waduk PB Soedirman.

5.3. Hidromorfologi Waduk PB Soedirman

Lingkungan waduk PB Soedirman sangat dipengaruhi oleh curah hujan di DAS Serayu dan sub-DAS-nya di bagian hulu yang pada gilirannya akan mempengaruhi debit air yang masuk waduk. Kondisi cuaca akan mempengaruhi intensitas cahaya matahari dan suhu perairan yang bersama-sama dengan suhu air dan hara akan berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan makrofita akuatiknya.

Fluktuasi curah hujan akan mempengaruhi *High Water Level* (HWL) waduk, jika mencapai maksimal, air waduk akan dipatus melalui pintu limpasan yang berada di bagian hilir waduk yang langsung dibuang ke sungai Serayu. Peningkatan debit air pada musim hujan segera diikuti dengan distribusi bahan organik dan hara dari hulu ke hilir.

Arah aliran arus air waduk PB Soedirman sepanjang tahun tetap, yaitu dari bagian hulu akan membelok ke arah utara ke daerah karamba, kemudian menuju bagian tengah waduk yang merupakan daerah pariwisata, dan selanjutnya menuju ke arah barat pada bagian hilir. Pada musim hujan kecepatan air di alur itu menjadi lebih

besar. Adanya peningkatan debit dan kecepatan air menyebabkan daerah pasang surut di bagian utara waduk dan utara serta selatan DDC akan tergenang dan dimanfaatkan sebagai lokasi jaring apung.

5.4. Profil Kualitas Air

5.4.1. Suhu, Kecerahan, dan TSS

Proses eutrofikasi ekosistem waduk merupakan perubahan parameter fisika, kimia, dan biologi air yang terjadi pada badan air. Hasil pengamatan pendahuluan terhadap parameter suhu air waduk PB Soedirman menyimpulkan tidak adanya stratifikasi termal, baik pada musim kemarau maupun pada musim hujan antara daerah afotik dengan eufotik. Gambaran suhu air waduk selama penelitian disajikan pada Tabel 5.1.

Suhu air di waduk PB Soedirman, pada musim kemarau dan musim hujan suhu air waduk di ketiga zone tak berbeda (Tabel 5.1). Pada musim kemarau, suhu air berkisar antara 29,7^{o}C sampai 30,5^{o}C, sedangkan pada musim hujan berkisar antara 29,6^{o}C sampai 29,9^{o}C.

Suhu air merupakan faktor energi panas yang mempengaruhi secara langsung kehidupan organisme air. Kisaran suhu air di waduk PB Soedirman mendukung untuk kehidupan makrofita akuatik. Menurut Odum (1971), suhu air sebagai lingkungan hidup tidak begitu banyak mengalami pergoncangan dibandingkan dengan suhu udara. Makrofita akuatik tumbuh baik pada kisaran suhu 20^{o}C sampai 30^{o}C.

Secara umum, terdapat perbedaan transparansi air waduk antara musim dan antar zone waduk (Lampiran 1). Data transparansi pada musim hujan dan musim kemarau dapat dilihat pada Tabel 5.1. Pada musim kemarau transparansi air lebih

tinggi di zone *outlet* waduk, sedangkan pada musim hujan lebih tinggi di zone tengah dan *outlet* (Tabel 5.1). Pada musim kemarau, transparansi air berkisar antara 55,3 cm sampai 112,0 cm, sedangkan pada musim hujan berkisar antara 63,3 cm sampai 86,3 cm. Berdasarkan data transparansi tersebut, secara umum waduk PB Soedirman diindikasikan mengalami fase mesotrof. Namun demikian, parameter transparansi ini hanya merupakan parameter pengindikasi. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Prihantanto (2005).

Tabel 5.1. Profil nilai suhu air, transparansi, dan TSS Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan).

Zone Waduk	T-air (^oC)		Transparansi (cm)		TSS (mgL^{-1})	
	MH	MK	MH	MK	MH	MK
Inlet	30,5a A	29,9a A	55,3e E	63,3e E	135,00i I	1826,67j J
Tengah	29,7a A	29,6a A	62,3e E	69,7f E	116,67i I	1220,00i J
Outlet	30,0a A	29,9a A	112,0f E	86,3f E	106,67i I	1060,33i J

Berdasarkan sidik ragam, data T-air tak beragam, sedangkan efek zona waduk terhadap transparansi teruji bermakna, efek interaksi terhadap TSS teruji bermakna (Lampiran 1).

Keterangan : Masing-masing angka yang ditandai dengan huruf yang sama (huruf kecil arah vertikal dan huruf besar arah horizontal) tidak berbeda menurut uji BNT $\alpha = 0,05$.
MK : Musim Kemarau, MH : Musim Hujan.

Transparansi air pada musim kemarau lebih tinggi dibandingkan pada musim hujan (Lampiran 1 dan Tabel 5.1). Pada musim kemarau, masukan air dari bagian

hulu DAS Serayu tidak sebanyak pada musim hujan. Pada musim hujan, terjadi peningkatan kandungan bahan terlarut dari bagian hulu DAS Serayu. Nilai transparansi terendah didapat pada zone hulu waduk (stasiun II) yang merupakan daerah dengan kegiatan penambangan pasir. Dari tabel tersebut terlihat adanya kecenderungan makin meningkatnya transparansi dari zone *inlet* ke zone *outlet* waduk. Hal itu dapat dimengerti karena kecepatan arus dari zone *inlet* ke zone *outlet* cenderung semakin lambat, dan pengendapan bahan terlarut sudah dimulai di zone *inlet* waduk.

Dari tabel tersebut terlihat adanya kecenderungan makin meningkatnya transparansi dari zone *inlet* ke zone *outlet* waduk. Hal itu dapat dimengerti karena kecepatan arus dari zone *inlet* ke zone *outlet* cenderung semakin lambat, dan pengendapan bahan terlarut sudah dimulai di zone *inlet* waduk.

Pada musim kemarau di ketiga zone waduk, kandungan TSS tak berbeda, sedangkan pada musim hujan lebih tinggi di zone *inlet* (Tabel 5.1). Pada musim kemarau, kandungan TSS berkisar antara 106,67 mgL^{-1} sampai 135,00 mgL^{-1}, sedangkan pada musim hujan berkisar antara 1.060,33 mgL^{-1} sampai 1.826,67 mgL^{-1}.

Kandungan TSS selama penelitian menunjukkan adanya perbedaan antar musim (Lampiran 1). Lebih tingginya kandungan TSS pada musim hujan sebagai akibat lebih tingginya erosi yang terjadi di bagian hulu DAS Serayu. Pada pengamatan bulan pertama, kedua, dan ketiga, kandungan TSS tertinggi dijumpai di zone hulu waduk (terutama stasiun II) yang merupakan daerah penambangan pasir dan melewati daerah perbukitan kapur. Kandungan TSS dipengaruhi oleh adanya zat-zat terlarut dan tersuspensi seperti bahan organik, mikroorganisme dan partikel,

lempung, dan lumpur (Alaerts dan Santika, 1987). Peningkatan erosi yang berlangsung terus menerus pada musim kemarau dan musim hujan mengakibatkan peningkatan TSS. Hal itu terjadi karena adanya konservasi yang kurang baik di DAS dan sub DAS di bagian hulu. Banyaknya kandungan TSS mengurangi umur fungsi waduk.

5.4.2. DHL, pH, dan O_2 terlarut

Profil variabel kualitas air (DHL, pH, dan O_2) waduk PB Soedirman selama penelitian disajikan pada Tabel 5.2 dan Lampiran 2. Dari tabel tersebut terlihat adanya perbedaan kandungan O_2 terlarut dan tidak adanya perbedaan nilai DHL dan pH air antara musim kemarau dengan musim hujan. Secara umum, nilai-nilai variabel tersebut tampak tidak berbeda antar zone waduk.

Pada musim kemarau dan musim hujan nilai DHL di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.2). Nilai DHL berkisar antara 253,33 sampai 275,00 pada musim kemarau dan berkisar antara 360,00 sampai 364,00 pada musim hujan. Pada musim kemarau nilai DHL cenderung lebih rendah dengan kisaran yang lebar dibanding pada musim hujan. Hal ini menginformasikan pada musim hujan banyak masukan kation dan anion dari kegiatan antropogenik ke waduk yang pada gilirannya akan meningkatkan nilai DHL. Kegiatan antropogenik yang terjadi di bagian *inlet* waduk adalah kegiatan pertanian, perkebunan, rumah tangga, dan kegiatan industri pengolahan kayu.

pH air waduk PB Soedirman pada musim kemarau dan musim hujan di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.2). pH air berkisar antara 7,20 sampai 7,52 pada musim kemarau dan berkisar antara 7,54 sampai 7,69 pada musim hujan.

Tabel 5.2. Nilai DHL, pH, dan O_2 Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim hujan dan musim kemarau).

Zone Waduk	DHL		pH		O_2 (mgL^{-1})	
	MH	MK	MH	MK	MH	MK
Inlet	261,67a A	362,00a B	7,38e E	7,54e E	7,93i I	0,10i J
Tengah	275,00a A	364,00a B	7,52e E	7,69e E	6,77i I	0,13i J
Outlet	253,33a A	360,00a B	7,20e E	7,55e E	7,03i I	0,10i J

Berdasarkan sidik ragam, data pH tak beragam, sedangkan efek musim terhadap DHL dan kandungan O_2 terlarut teruji bermakna (Lampiran 2).

Keterangan : Masing-masing angka yang ditandai dengan huruf yang sama (huruf kecil arah vertikal dan huruf besar arah horizontal) tidak berbeda menurut uji BNT $\alpha = 0,05$.
MK : Musim Kemarau, MH : Musim Hujan.

Air yang bersifat asam ke netral cenderung lebih produktif dibandingkan dengan air yang bersifat basa. Kisaran pH perairan PB Soedirman masih mendukung untuk kehidupan makrofita akuatik. Welch (1952) menyatakan, plankton dan makrofita akuatik dapat hidup normal pada kisaran pH antara 7 sampai 9.

Kandungan O_2 terlarut waduk PB Soedirman berbeda antara musim kemarau dan musim hujan (Lampiran 2). Kandungan O_2 terlarut berkisar antara 6,77 mgL^{-1} sampai 7,93 mgL^{-1} pada musim kemarau dan berkisar antara 0,10 mgL^{-1} sampai 0,13 mgL^{-1} pada musim hujan. Kandungan O_2 terlarut pada musim kemarau lebih tinggi

dibandingkan pada musim hujan. Hal itu berkaitan dengan melimpahnya makrofita akuatik dan banyaknya sampah yang terbawa dari bagian hulu sungai pada musim hujan. Pada kondisi seperti itu, makrofita akuatik dan fitoplankton banyak menggunakan O_2 terlarut untuk fotosintesis dan respirasi. Kandungan O_2 terlarut dipengaruhi oleh kehadiran makrofita akuatik dan fitoplankton, suhu, penetrasi cahaya, kecepatan arus, dan jumlah bahan organik yang diuraikan dalam air seperti sampah, ganggang dan tumbuhan mati, atau limbah industri. Keberadaan kandungan O_2 terlarut juga dipasok oleh adanya difusi langsung dari udara (Sastrawidjaja, 1991). Selain itu, pemasukan O_2 ke dalam air terjadi karena adanya aliran air yang mendorong proses difusi dan air hujan yang mengakibatkan turunnya suhu air yang meningkatkan proses pengikatan oksigen (Wetzel (1983).

Kandungan O_2 terlarut berkorelasi dengan kandungan bahan organik di bagian epilemnion. Di daerah dengan kandungan bahan organik tinggi membutuhkan O_2 terlarut yang banyak. Selain dipergunakan organisme lain untuk respirasi, proses penguraian bahan organik oleh bakteri aerob akan menurunkan kandungan O_2 terlarut. Untuk mempertahankan kondisi aerob, minimal kandungan O_2 terlarut yang diperlukan 0,2 – 0,6 mgL^{-1} (Jenie dan Rahayu, 1995).

5.4.3. Bahan Organik (COD dan BOD) Waduk PB Soedirman

Sumber nitrat dan fosfat autogenik waduk PB Soedirman berasal dari mineralisasi bahan organik dan kegiatan antropogenik masyarakat di sekitar waduk. Kadar bahan organik di lapisan eufotik menentukan kadar nitrat dan fosfatnya. Bahan organik yang terbiooksidasi dinyatakan dengan BOD, sedangkan bahan organik yang

teroksidasi secara kimiawi dinyatakan dengan COD. Kandungan COD dan BOD selama penelitian disajikan pada Tabel 5.3 dan Lampiran 3.

Tabel 5.3. Kandungan COD dan BOD Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim hujan dan musim kemarau).

Zone Waduk	COD (mgL^{-1})		BOD (mgL^{-1})	
	MH	MK	MH	MK
Inlet	13,87a A	10,61ab A	4,30e E	5,58e E
Tengah	16,48b A	14,89b A	5,27e E	6,15e E
Outlet	11,08a A	7,63a A	3,57e E	4,76e E

Berdasarkan sidik ragam, efek musim dan zone waduk terhadap COD teruji bermakna, sedangkan data BOD tak beragam (Lampiran 3).

Keterangan : Masing-masing angka yang ditandai dengan huruf yang sama (huruf kecil arah vertikal dan huruf besar arah horizontal) tidak berbeda menurut uji BNT $\alpha = 0,05$.
MK : Musim Kemarau, MH : Musim Hujan.

Pada musim kemarau dan musim hujan kandungan COD lebih tinggi di zone tengah (Tabel 5.3 dan Lampiran 3). Pada musim kemarau, kandungan COD berkisar antara 11,08 mgL^{-1} sampai 16,48 mgL^{-1}, sedangkan pada musim hujan berkisar antara 7,63 mgL^{-1} sampai 14,89 mgL^{-1}.

Nilai COD pada musim kemarau selalu lebih tinggi dibandingkan pada musim hujan. Hal ini membuktikan adanya kandungan bahan anorganik lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan bahan organik dalam badan air waduk. Selain itu, COD tersusun oleh bahan-bahan yang sukar dibiodegradasi.

Secara umum, nilai BOD air waduk PB Soedirman menunjukkan tidak ada perbedaan antar musim dan antar zone waduk (Lampiran 3). Kandungan BOD air waduk PB Soedirman pada musim kemarau dan musim hujan di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.3 dan Lampiran 3). Nilai BOD berkisar antara 3,57 mgL^{-1} sampai 5,27 mgL^{-1} pada musim kemarau dan berkisar antara 4,76 mgL^{-1} sampai 6,15 mgL^{-1} pada musim hujan. Namun demikian, zone tengah waduk cenderung mempunyai nilai BOD lebih tinggi dibandingkan dengan zone lainnya. Tingginya kandungan bahan organik pada zone tersebut, selain karena masukan dari luar waduk (limbah pertanian dan rumah tangga), juga karena penambahan dari kegiatan perikanan (karamba jaring apung).

5.4.4. Kandungan Unsur Fosfor Waduk PB Soedirman

Bahan organik di daerah eufotik waduk PB Soedirman mengalami mineralisasi berturut-turut dari yang paling mudah terurai yaitu karbohidrat dan protein, sedangkan lemak lebih stabil. Protein akan mengalami amonifikasi menjadi NH_3 yang oleh mikroorganisme dinitrifikasi menjadi nitrit dan nitrat. Karbohidrat mengalami hidrolisis menjadi glukosa yang selanjutnya didegredasi menjadi CO_2 dan H_2O. Dalam badan air terdapat N-organik dan P-organik yang dapat dinyatakan dalam N-total dan P-total. Kandungan N-total dan P-total air waduk PB Soedirman disajikan pada Tabel 5.4 dan Lampiran 4.

Terdapat perbedaan kandungan N-total antara musim kemarau dan musim hujan (Lampiran 4). Kandungan N-total air waduk PB Soedirman pada musim kemarau dan musim hujan di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.4). Pada musim

kemarau kandungan N-total berkisar antara 1,4290 mgL^{-1} sampai 4,2857 mgL^{-1} dan pada musim hujan berkisar antara 4,4447 mgL^{-1} sampai 6,0320 mgL^{-1}.

Tabel 5.4. Kandungan N-total dan P-total waduk PB Soedirman selama penelitian (musim hujan dan musim kemarau).

Zone Waduk	N-total (mgL^{-1})		P-total (mgL^{-1})	
	MH	MK	MH	MK
Inlet	2,8570a A	5,3970a B	2,2837e E	2,1937e E
Tengah	4,2857a A	4,4447a B	2,0320e E	1,8123e E
Outlet	1,4290a A	6,0320a B	3,8053e E	1,5090e F

Berdasarkan sidik ragam, efek musim terhadap N-total dan P-total teruji bermakna (Lampiran 4).

Keterangan : Masing-masing angka yang ditandai dengan huruf yang sama (huruf kecil arah vertikal dan huruf besar arah horizontal) tidak berbeda menurut uji BNT $\alpha = 0,05$.
MK : Musim Kemarau, MH : Musim Hujan.

Kandungan P-total air Waduk PB Soedirman pada musim hujan dan musim kemarau di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.4). Pada musim hujan, kandungan P-total berkisar antara 2,0320 mgL^{-1} sampai 3,8053 mgL^{-1}, sedangkan pada musim kemarau berkisar antara 1,5090 mgL^{-1} sampai 2,1937 mgL^{-1}.

Berdasarkan kandungan N total dan P totalnya, waduk PB Soedirman tergolong pada perairan dengan status oligotrof menuju mesotrof (Likens, 1975 dan Jorgensen, 1980). Sumber utama N dan P air waduk PB Soedirman berasal dari tanah yang mengalami erosi, pupuk dan zat kimia pertanian yang tercuci, sampah organik, limbah rumah tangga, dan sisa pakan kegiatan karamba jaring apung. Menurut Tohir

(1985), perairan yang banyak kandungan N dan P akan mengalami eutrofikasi. Artinya, perairan mengalami penyuburan yang berlebihan sehingga pertumbuhan makrofita akuatik terpacu. Soerjani dan Widyanto (1977) menyatakan, hasil buangan yang masuk ke dalam suatu perairan dapat memacu pertumbuhan masal (*blooming*) makrofita akuatik.

Kandungan P-total dan PO_4 waduk PB Soedirman, disajikan pada Tabel 5.5. Kandungan P-total pada musim kemarau dan hujan di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.5). Kandungan P-total pada musin kemarau berkisar antara 2,0320 mgL^{-1} sampai 3,8053 mgL^{-1} dan pada musim hujan berkisar antara 1,5090 mgL^{-1} sampai 2,1937 mgL^{-1}.

Unsur P dalam bentuk fosfat, merupakan bentuk senyawa fosfor yang bisa langsung dimanfaatkan oleh organisme. Umumnya fosfat selalu lebih stabil dari P-total. Kandungan fosfat di waduk PB Soedirman selain berasal dari mineralisasi, kegiatan pertanian, dan sampah organik juga berasal dari limbah rumah tangga dan aktivitas rumah tangga lain yang banyak menggunakan deterjen. Mahida (1989) dan Sastrawidjaja (1991) menyatakan, limbah rumah tangga dari pembuangan kamar mandi, kakus, dan dapur banyak mengandung senyawa ortofosfat.

Hasil pengamatan menunjukkan, kandungan PO_4 pada musim kemarau dan hujan di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.5). kandungan PO_4 pada musin kemarau berkisar antara 0,1421 mgL^{-1} sampai 0,3239 mgL^{-1} dan pada musim hujan berkisar antara 0,6030 mgL^{-1} sampai 0,6316 mgL^{-1}.

Tabel 5.5. Kandungan P-total dan PO_4 waduk PB Soedirman selama penelitian (musim hujan dan musim kemarau).

Zone Waduk	P-total (mgL^{-1})		PO_4 (mgL^{-1})	
	MH	MK	MH	MK
Inlet	2,2837a A	2,1937a A	0,1688e E	0,6316e F
Tengah	2,0320a A	1,8123a A	0,1421e E	0,6030e F
Outlet	3,8053a A	1,5090a B	0,3239e E	0,6226e F

Berdasarkan sidik ragam, efek musim terhadap P-total dan PO_4 teruji bermakna (Lampiran 5).

Keterangan : Masing-masing angka yang ditandai dengan huruf yang sama (huruf kecil arah vertikal dan huruf besar arah horizontal) tidak berbeda menurut uji BNT $\alpha = 0,05$.
MK : Musim Kemarau, MH : Musim Hujan.

Adanya kandungan ortofosfat yang cukup tinggi di waduk PB Soedirman, menginformasikan bahwa kegiatan antropogenik berpengaruh terhadap kualitas air. Dilihat dari kandungan BOD yang antara 3,5 mgL^{-1} sampai 5,27 mgL^{-1} pada musim kemarau dan antara 4,76 mgL^{-1} sampai 6,15 mgL^{-1} pada musim hujan, sumber fosfat terbesar bukan berasal dari degradasi bahan organik, melainkan dari kegiatan pertanian yang menggunakan pupuk anorganik dan limbah cair domestik (sabun) yang komponen utamanya mengandung polifosfat.

Pada umumnya, masyarakat di DAS dan subDAS Serayu belum mengelola limbah sabun, dan lebih suka membuangnya ke badan air. Sabun dan deterjen mengandung Sodium tripolifosfat (Na_3PO_4) yang akan terhidrolisis menghasilkan ortofosfat (Supangkat, 1988). Komponen limbah domestik yang lain adalah kotoran

manusia yang mengandung P antara 3 – 5% dan urine yang mengandung P antara 2 – 5% (Mara, 1984). Kondisi itu memberikan gambaran bahwa aktivitas MCK dapat sebagai sumber ortofosfat. Kandungan ortofosfat waduk PB Soedirman juga berasal dari kegiatan budi daya karamba. Penggunaan pakan buatan akan menghasilkan sisa yang merupakan sumber ortofosfat.

Penelitian Wardoyo (1982) menyimpulkan, kadar ortofosfat perairan alami lebih kurang 0,1 mgL^{-1}. Masuknya limbah domestik dan pertanian akan meningkatkan kandungannnya. Penelitian Reynold (1993) menyimpulkan, dalam perairan yang menerima limbah domestik cenderung mempunyai kadar fosfat yang tinggi. Informasi dari Taylor *et al*. (1982), menunjukkan bahwa perairan yang membawa sisa pupuk adalah sumber peningkatan ortofosfat. Pupuk TSP (*triple super phosphate*) mengandung 45% ortofosfat.

Kandungan ortofosfat waduk PB Soedirman menunjukkan adanya perbedaan antara musim kemarau dan musim hujan (Tabel 4.5). Kandungan ortofosfat pada musim hujan lebih tinggi dibandingkan pada musim kemarau. Pada musim kemarau kandungan ortofosfat berkisar 0,1421 mgL^{-1} sampai 0,3239 mgL^{-1} dan musim hujan berkisar 0,6030 mgL^{-1} sampai 0,6316 mgL^{-1}. Air yang masuk ke waduk tersebut memperoleh masukan senyawa-senyawa yang mengandung ortofosfat. Hal ini menginformasikan, aktivitas pertanian tumbuhan pangan dan perkebunan di hulu DAS Serayu adalah sumber utama kandungan unsur hara P di waduk PB Soedirman. Wetzel (1983) menyatakan bahwa kandungan ortofosfat di perairan dipengaruhi oleh tataguna lahan, geologi, morfologi badan air, dan aktivitas manusia.

Sungai Merawu melewati daerah yang banyak mengandung Ca, yang menyebabkan waduk PB Soedirman bersifat netral sampai sedikit alkalis. Atlas dan Bartha (1981) menyatakan, pada perairan yang netral sampai sedikit alkalis, ion fosfat akan berikatan dengan kation Ca dan Mg, yang menyebabkan kelarutannya menurun dan akan mengendap. Selain itu, karena adanya pengaruh gaya berat senyawa tersebut cenderung mengendap (Cole, 1994). Kandungan ortofosfat yang tinggi di bagian afotik dikarenakan ada penambahan ortofosfat yang berasal dari pelarutan senyawa fosfat akibat rendahnya kandungan oksigen terlarut di bagian afotik.

Kandungan ortofosfat pada lapisan eufotik berhubungan dengan keberadaan makrofita akuatik. Curds dan Hawkes (1983) menyatakan, penurunan kandungan ortofosfat dapat terjadi karena penyerapan ortofosfat oleh makrofita akuatik. Penelitian Goldman dan Horne (1983) menyimpulkan, makrofita akuatik bukan saja mampu menyerap ortofosfat, tetapi juga mampu menyimpannya bila hara tersebut tersedia di lingkungannya dalam jumlah berlebihan. Makrofita akuatik menyerap ortofosfat dengan sangat cepat dengan persentase yang besar dari total penyerapan dan berlangsung hanya dalam beberapa menit.

5.4.5. Kandungan Unsur Nitrogen Waduk PB Soedirman

Selain unsur hara fosfor, faktor pembatas dalam proses eutrofikasi adalah unsur hara nitrogen dalam bentuk senyawa NH_4^+ dan NO_3^-. Sumber senyawa N terbesar waduk PB Soedirman berasal dari bahan anorganik. Sumber N-organik adalah protein yang mengalami amonifikasi, yang merupakan pendukung pertumbuhan mikroorganisme. Menurut Soetariningsih (1991), senyawa NH_4^+

merupakan indikator pencemaran air yang masih baru, sedangkan NO_3^- merupakan indikator pencemaran yang telah berlangsung lama.

Salah satu alternatif menurunkan ketersediaan senyawa N yang telah teroksidasi (NO_2^- dan NO_3^-) dengan cara melepaskannya ke udara dalam bentuk N_2 melalui denitrifikasi. Proses itu dilakukan oleh mikroorganisme anaerob. Reduksi NO_3^- secara biologi melibatkan sistem enzim dalam asimilasi dan desimilasi. Asimilasi untuk mereduksi NO_3^- menjadi NH_4^+ yang kemudian digunakan oleh mikroorganisme untuk biosintesis. Proses itu belangsung apabila NO_3^- merupakan satu-satunya sumber N yang tersedia.

Kandungan berbagai bentuk unsur hara N Waduk PB Soedirman disajikan pada Tabel 5.6. Pada tabel tersebut dan Lampiran 6 terlihat adanya variasi kandungan N-total dan NO_3 antara musim hujan dan musim kemarau, sedangkan kandungan NH_3 tidak tampak adanya variasi. Kandungan ketiga hara tersebut tidak menunjukkan adanya variasi antar zona waduk.

Masalah pencemaran waduk umumnya timbul dari masalah lingkungan sekitarnya (*catchment area*) yang berpengaruh terhadap proses hidrologi yang selanjutnya akan menentukan kualitas air yang tertampung dalam waduk (Gordon *et al.*, 1992). Di bagian *inlet* waduk PB Soedirman, aktivitas pertanian dan perkebunan yang menggunakan pupuk N seperti urea berperan meningkatkan kandungan NH_4 air waduk, yang selanjutnya akan berpengaruh terhadap pertumbuhan makrofita akuatik dan fitoplankton.

Tabel 5.6 Kandungan N-total, NH_3, dan NO_3 waduk PB Soedirman selama penelitian (musim hujan dan musim kemarau).

Zone Waduk	N-total (mgL^{-1})		NH_3 (mgL^{-1})		NO_3 (mgL^{-1})	
	MH	MK	MH	MK	MH	MK
Inlet	5,3970a B	2,8570a A	0,0049e E	0,0187e E	0,6857i J	0,3799i I
Tengah	4,4447a B	3,3813a A	0,0007e E	0,0209e E	0,6368i J	0,1667i I
Outlet	6,0320a B	1,4290a A	0,0006e E	0,0434e E	0,5672i J	0,1443i I

Berdasarkan sidik ragam, efek musim terhadap N-total dan NO_3 teruji bermakna dan semua efek terhadap NH_3 teruji tak bermakna (Lampiran 6).

Keterangan : Masing-masing angka yang ditandai dengan huruf yang sama (huruf kecil arah vertikal dan huruf besar arah horizontal) tidak berbeda menurut uji BNT $\alpha = 0,05$.
MK : Musim Kemarau, MH : Musim Hujan.

5.5. Sebaran Spasial Temporal Makrofita Akuatik Waduk PB Soedirman

Keragaman jenis dapat diartikan sebagai kekayaan jenis yang terdapat dalam suatu area di dalam komunitas ekologi (Krebs, 1972). Kekayaan jenis bergantung pada kestabilan ekosistem yang mendukung komunitas tersebut. Pada ekosistem waduk dan waduk yang sedang mengalami proses eutrofikasi, kekayaan jenis cenderung meningkat sampai status mesotrof, kemudian menurun pada status eutrof. Pada status eutrof, kadar hara N dan P waduk tinggi sehingga tumbuhan yang tumbuh adalah jenis tumbuhan yang membutuhkan habitat dengan kondisi tersebut.

Tujuan pengukuran kekayaan jenis suatu komunitas adalah untuk menyatakan karakteristik lain dari komunitas seperti produktivitas, stabilitas, atau kondisi lingkungan yang mengontrol. Yang dilakukan pada penelitian ini adalah mencari

hubungan antara tingkat eutrofikasi (status trofik) waduk PB Soedirman dengan keragaman jenis makrofita akuatik. Pengukuran keragaman jenis suatu komunitas harus memperhatikan area, waktu, dan jenis tumbuhan. Secara sederhana keragaman jenis dapat diukur dengan menghitung jumlah jenis, biomasa, dan kelimpahan relatif (Krebs, 1972; Poole, 1974; dan Pielo, 1975). Untuk tumbuhan yang berkembang biak secara vegetatif dan ukuran individunya sangat bervariasi, lebih cocok dihitung jumlah individu atau ditimbang bobot kering (biomasa).

Makrofita akuatik adalah paku air, spermatofita, ganggang, dan berbagai jenis tumbuhan monokotil yang tumbuh dalam air. Proses eutrofikasi yang mempunyai faktor pembatas hara N dan P menyebabkan perbandingan kedua hara tersebut atau rasio N/P menentukan komposisi jenis makrofita dalam badan air. Makrofita akuatik merupakan elemen kunci di ekosistem perairan yang dapat digunakan sebagai alat pengklasifikasian ekosistem perairan karena distribusi dan komposisi jenisnya mencerminkan karakter daerah tangkapan air (Anderson, 2001; Jensen, 1979; Robach *et al*., 1996). Hasil penelitian Wibowo (2004a, 2004b, dan 2006) menunjukkan adanya perbedaan jenis makrofita akuatik pada musim kemarau dan musim hujan antara Waduk PB Soedirman Banjarnegara dengan Waduk Rawa Pening.

Keragaman jenis makrofita akuatik Waduk PB Soedirman selama masa penelitian tersaji pada Tabel 5.7. Pada tabel tersebut terlihat adanya kesamaan jumlah jenis makrofita akuatik yang dijumpai pada musim kemarau dan musim hujan.

Waduk PB Soedirman mempunyai keanekaragaman (*richness*) yang rendah baik pada musim kemarau maupun musim hujan. Keanekaragaman jenis yang rendah terdapat pula pada bagian hulu, badan air, dan hilir waduk. Pada musim kemarau dan

hujan tetap didominasi oleh *Eichhornia crassipes*, terutama pada bagian hulu waduk dan daerah karamba. Pada daerah karamba, di musim kemarau tanaman ini mendominasi bersama-sama dengan ganggang *Spirogyra* sp.. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Kuswanto (1999) dan Wibowo (2004a).

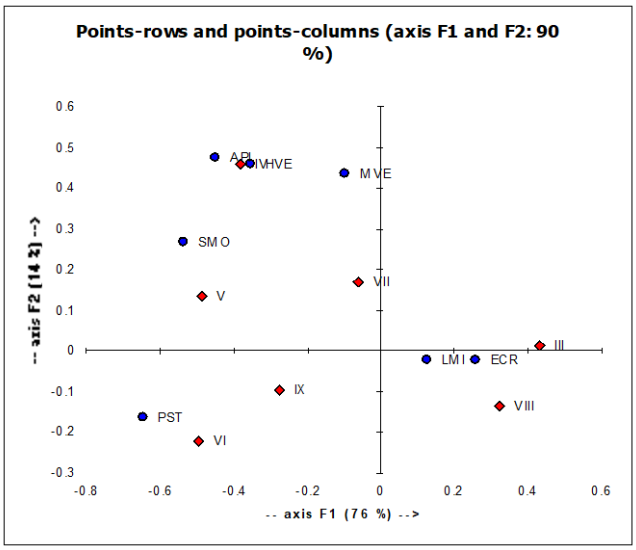
Tabel. 5.7. Keragaman jenis makrofita akuatik Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan)

No.	Nama jenis	Nama Daerah
1.	*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms	Eceng gondok
2.	*Pistia stratiotes* L.	Kiapu
3.	*Lemna minor* Torr.	Gulma itik
4.	*Azolla pinnata* R.Br.	Kakarewoan
5.	*Salvinia molesta* D.S. Mitchell	Kayambang
6.	*Hydrilla verticillata* (L.f) Royle	Ganggeng
7.	*Myriophylum verticillatum* (Vell.) Verk.	Kiparis
8.	*Spyrogyra* sp.	Ganggang

Keanekaan jenis makrofita akuatik pada waduk PB Soedirman didominasi oleh *E. crassipes*. Jenis makrofita akuatik mengapung (*sub merged plant*) yang lain seperti *Pistia stratiotes, Lemna minor,* dan *Azolla pinnata.*

Hasil analisis faktorial korespondensi makrofita akuatik pada stasiun pengamatan pada musim kemarau menunjukkan adanya kontribusi empat sumbu utama secara bersama-sama sebesar 96,4% dari ragam total, dengan masing-masing menjelaskan 75,9%, 13,9%, 6,6%, dan 3,1% (Lampiran 7).

Grafik hasil analisis faktorial korespondensi antara jenis makrofita akuatik dengan stasiun pengamatan pada musim kemarau tersaji pada Gambar 5.1. Pada gambar tersebut memperlihatkan adanya dua kelompok stasiun. Kelompok 1 terdiri dari stasiun III dan VIII yang dicirikan dengan kehadiran *E. crassipes* dan *L. minor*. Kontribusi makrofita akuatik yang paling banyak pada kelompok 1 adalah *E. crassipes* (29,87%) terutama pada stasiun III (41,19%). Kelompok 2 terdiri dari stasiun IV, V, VII, VI, dan IX yang dicirikan dengan kehadiran *P. stratiotes, S. molesta, A. pinnata,* dan *H. verticillata.* Kontribusi terbesar pada kelompok ini adalah *P. stratiotes* (56,87%) terutama pada stasiun VI.



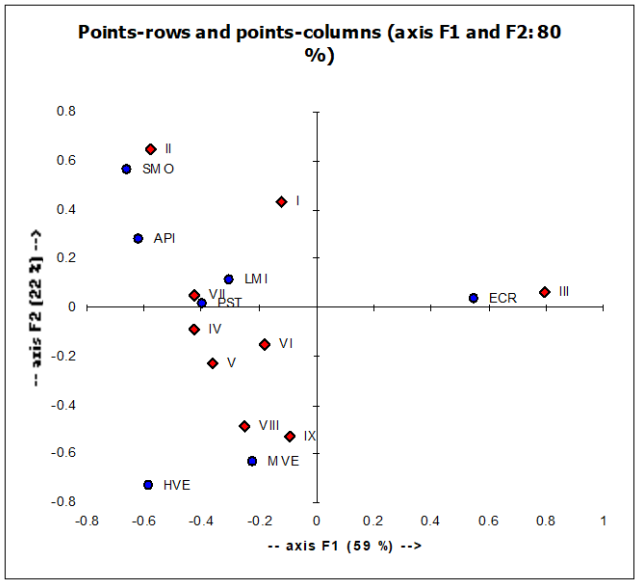
Keterangan: ECR = *E. crassipes*, SMO = *S. molesta*, API = *A. pinnata*, LMI = *L. minor*, PST = *P. stratiotes*, MVE = *M. verticillatum*, HVE = *H. vericillata.*

Gambar 5.1. Korespondensi Faktorial antara makrofita akuatik dengan stasiun pengamatan pada musim kemarau.

Hasil analisis faktorial korespondensi makrofita akuatik pada stasiun pengamatan pada musim hujan menunjukkan adanya kontribusi empat sumbu utama

secara bersama-sama adalah 97,1% dari ragam total, dengan masing-masing menjelaskan 58,5%, 21,7%, 14,6%, dan 2,2% (Lampiran 8).

Korespondensi faktorial antara jenis makrofita akuatik dengan stasiun pengamatan pada musim hujan tersaji pada Gambar 5.2. Pada gambar tersebut memperlihatkan adanya dua kelompok stasiun. Kelompok 1 terdiri dari stasiun III yang dicirikan dengan kehadiran *E. crassipes*. Kontribusi makrofita akuatik pada stasiun III (kelompok 1) sebesar 51,54% . Kelompok 2 terdiri dari stasiun II, I, VII, IV, V, VI, VIII, dan IX yang dicirikan dengan kehadiran *S. molesta, A. pinnata, L. minor P. stratiotes, M. verticillatum,* dan *H. verticillata.* Kontribusi terbesar pada kelompok ini adalah *A. pinnata* (15,49%) terutama pada stasiun VI.



Keterangan : ECR = *E. crassipes*, SMO = *S. molesta*, API = *A. pinnata*, LMI = *L. minor*, PST = *P. stratiotes*, MVE = *M. verticillatum*, HVE = *H. vericillata.*

Gambar 5.2. Korespondensi Faktorial antara makrofita akuatik dengan stasiun pengamatan pada musim hujan.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

(1) Waduk PB Soedirman mempunyai diversitas makrofita akuatik yang rendah (8 jenis). *E. crassipes* merupakan makrofita akuatik dominan di waduk PB Soedirman. Jenis lain yang diketemukan adalah *H. verticillata, P. stratiotes, L. minor, A. pinnata. S. molesta, M. verticillatum,* dan *Spirogyra* sp..

(2) Pada musim kemarau dan musim hujan, diversitas makrofita akuatik waduk PB Soedirman tersebar tidak merata antar zone waduk dan terbagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama terdiri atas stasiun III (zone hulu waduk) yang cenderungan didominasi oleh *E. crassipes*. Kelompok kedua terdiri atas stasiun lainnya dengan kehadiran jenis makrofita akuatik yang lebih beragam.

6.2. Saran

(1) Pemanfaatan makrofita akuatik sebagai tumbuhan indikator pengayaan hara merupakan alternatif yang dapat dipertimbangkan. Dengan demikian, didapatkan metode monitoring kualitas air yang murah dan dapat diakukan dengan mudah oleh masyarakat.

(2) Diperlukan pengulangan penelitian sejenis pada waduk oligotrof untuk melengkapi dan memperkuat data-data penelitian yang telah penulis lakukan pada waduk eutrof dan mesotrof.

DAFTAR PUSTAKA

Abel, P.D. 1989. *Water Pollution Biology*. Ellis Horwood, Ltd., Chichester, England.

Aboal, M., M. Prefasi, and A.D. Asencio. 1996. *The Aquatic Microphytes and Macrophytes of the Transvase Tajo-Segura Irrigation System, Southeastern Spain*. **Hydrobiologia 340 : 101 - 107.**

Alaerts, G., dan S.S. Santika. 1987. *Metode Penelitian Air*. Penerbit Usaha Nasional, Surabaya.

Anderson, B. 2001. *Macrophyte Development and Habitat Characteristics in Sweden's Large Lake*. **Ambio (30) 8 : 503 – 513.**

APHA. 1985. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16 th edition*. American Public Health Association. New York.

Atlas, R.M., and R. Bartha. 1981. *Microbial Ecology. Fundamentals and Applications.* Addison-Wesley Publ. Co., Sydney.

Bengen, D.G. 2000. *Sinopsis Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut*. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan IPB, Bogor

Bertoli, G.C. 1996. *Aquatic Vegetation of the Orinoco River Delta (Venezuela). An Overview*. **Hydrobiologia 340 : 109 - 113.**

Caduto, M.J. 1985. *Ponds and Brook. A Guide to Nature Study in Freshwater Environments.* Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Clark, K.R., and R.M. Warwick. 1994. *Change in Marine Communities.* An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. Natural Environmental Research Council. Bourne Press, Ltd., Plymounth, IL.

Cole, G.A. 1994. *The Book of Limnology*. 4th Ed. Waveland Press, Inc., Michigan, MI.

Croome, C., R. Boar, and B. Moss. 1978. *The Decline of Reedswamp in the Norfolk Broadland.* Research Series Repost 6. Brods Authority, Norwich, England.

Curds, C.R., and H.A. Hawkes. 1983. *Ecological Aspect of Used-water Treatment.* Vol. 2. Biological Activities and Treatment. Academic Press, Inc., Chicago, IL.

Emantoko, S. 2000. *Bioindikator Pencemaran Sungai*. **Buletin Pusat Studi Lingkungan Ubaya 6 : 18 – 21.**

Gordon, C.R., D.B. Porcella., and D.M. Tarrein. 1992. *The Effect of Carbon on Algal Growth. Its Relationship to Eutrophication.***Water Research 6 : 637 – 79.**

Harper, D. 1992. *Eutrophication of Freshwaters*. Principles, problems and restoration. Chapman and Hall, London.

Indarto, Y. 1992. *Lemna di Kebun Raya Bogor*. Warta Limnologi 9. Pusat Penelitian dan Pengembangan LIPI, Bogor.

Ismail, M., dan A.B. Mohamad. 1992. *Ekologi Air Tawar*. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kementerian Pendidikan Malaysia, Kuala Lumpur.

Jeffries, M., and D. Mills. 1990. *Freshwater Ecology*. Principles and Applications. John Wiley and Sons, New York.

Jenie, B.S., dan W.P. Rahayu. 1995. *Pengolahan Limbah Industri Pangan.* Kanisius. Yogyakarta.

Jensen, S. 1979. *Classification of Lake in Southern Sweden on the Basis of their Macrophyte Composition by means of Multivariate Methods.* **Vegetatio 39 : 129 – 146.**

Jorgensen, S.E. 1980. *Lake Management, Water Development, Supply and Management, Developments in Hydrobiology*. Vol. 14. Pergamon Press, Oxford, New York.

Kovács, M. 1992. *Biological Indicators in Environmental Protection.* Ellis Horwood, New York.

Krebs, C.J. 1972. *Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance.* Harper and Raw Publ., New York.

Krebs, C.J. 1989. *Ecologycal Methodology*. Harper Collins Pub., New York.

Kuswanto. 1999. *Hubungan Unsur Hara N dan P dengan Biomassa Makrofita di Perairan Waduk Penjalin Kabupaten Brebes.* Skripsi. Fakultas Biologi. Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.

Lembaga Ekologi UNPAD. 1981. *Analisis Dampak Lingkungan Proyek PLTA Mrica*. Laporan Tahap II. Bandung

Legendre, P., and L. Legendre. 1983. *Numerical Ecology*.2nd English Ed. Elsevier Science, Amsterdam.

Likens, G.E. 1975. *Primary Production of Inland Aquatic System*. In : H. Leith and R.H. Whittaker (ed.). Primary Productivity of the Biosphere. Springer-Verlag, Berlin.

Mahida, U.N. 1989. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri.* Rajawali Press, Jakarta.

Mara, D. 1984. *Biology of Water Polution*. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Mason, C.F. 1991. *Biology of Freshwater. Pollution.* 2 nd ed. Longman Scietific and Technical, London.

Megie, K.A. 1986. *The Exchange in the Flora and Fauna of a Nutrient Enriched Lake.* **Hydrobiologia 35 : 545 –53**

Mitchell, D.A. 1994. *The Evolution of Pollution Evidence by Lake Sediment Pseudofosil.* Pergamon Press, Oxford.

Moeljono. 1995. *Kandungan Orthofosfat pada berbagai Lapisan di Waduk Malahayu Brebes.* Fakultas Biologi UNSOED, Purwokerto

Odum, E.P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. W.B. Saunders, Toronto.

_____. 1994. *Dasar-Dasar Ekologi*. Edisi ketiga. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Pielo, Y. 1975. *Micro Algal Separatory from High Rate Ponds.* University of California, Berkeley, CA.

Poole, R.W. 1974. *An Introduction to Mathematical Ecology.* McGraw-Hill Book Co., New York.

Prihartanto. 2005. *Potensi Eutrofikasi di Danau Rawa Pening*. **Alami 10 (1) : 55 – 61.**

Reynold, T.D. 1993. *Unit Operation and Process in Environmental Engineering.* Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, CA.

Rieley, J., and S. Page. 1990. *Ecology of Plant Communities*. Longman Scientific and Technical, Essex, England.

Robach, F., G. Thiébaut, M. Trémolières, and S. Muller. 1996. *A Reference System for Continental Running Waters : Plant Communities as Bioindicators in Increasing Eutrophication in Alkaline and Acidic Waters in Northeast France*. **Hydrobiologia 340 : 67 - 76.**

Sahlan, M. 1985. *Planktonologi*. Fakultas Peternakan dan Perikanan Universitas Diponegoro, Semarang.

Said, E.G., dan S. Harris. 2000. *Penanganan Limbah Industri Tekstil dan Organik.* Persatuan Alumni Jepang Cabang Bogor, Bogor.

Sastrawidjaja, A.T. 1991. *Pencemaran Lingkungan.* Rineka Cipta, Surabaya.

Sastroutomo, S.S. 1986. *Pestisida. Dasar-dasar dan Dampaknya.* Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Siregar, H. 1995. *Dampak Pemupukan Perkebunan Teh terhadap Kandungan N dan P Air Permukaan*. Lembaga Ekologi UNPAD, Bandung

Soerjani, M. 1977. *Rawa Pening. Masalah dan Pengendalian Tumbuhan Pengganggu Air*. SEAMEO – BIOTROP dan Departemen PUTL, Bogor.

Soerjani, M. 1993. *Gulma di Indonesia.* Pusat Penelitian Sumber Daya Manusia dan Lingkungan (PPSML) Universitas Indonesia, Jakarta.

Soerjani, M., dan L.S. Widyanto. 1977. *Pertumbuhan Masal Gulma Air dan Pengaruhnya terhadap Kualitas Air.* BIOTROP, Bogor.

Soetariningsih, E. 1991. *Kuliah Pendahuluan Limbah dan Permasalahnnya.* Kursus Singkat Penanganan limbah Secara Hayati. Pusat Antar Universitas (PAU) Bioteknologi. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Soewignjo, P. 1980. *Ekologi Calon Waduk Gajah Mungkur Wonogiri*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Steel, RGD dan Torrrie. 1985. *Principles and Procedures of Statistic*. McGraw-Hill. Inc. Auckland, Bogota, Guatamela.

Supangkat, I. 1988. *Teknologi Kimia.* Fakultas Pendidikan Matematika dan IPA. IKIP Yogyakarta, Yogyakarta.

Tohir, A.K. 1985. *Butir-Butir Tata Lingkungan*. Biro Aksara, Jakarta.

Taylor, M. 1983. *Mute Swamp Census. Transacstion the Norfolk and Norwich.* **Naturalis Society 25 : 7**

Wardoyo, S.T.H. 1982. *Pengelolaan Kualitas Air.* Proyek Peningkatan Mutu Perguruan Tinggi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Welch, P.S. 1952. *Lymnology*. 2nd Ed. McGraw-Hill, Inc., New York.

Wetzel, R.G. 1983. *Limnology Analysis.* Springer-Verlag, New York.

Whitton, E.W. 1979. *Running Waters Ecology.* John Wiley and Sons, Toronto.

Wibowo, D.N. 2004a. *Potensi Gulma Air untuk Monitoring Kualitas Air Waduk.* **J. Agrista 8 (2) : 187 – 197.**

Wibowo, D.N. 2004b. *Tingkat Eutrofikasi Waduk PB Soedirman Banjarnegara Berdasarkan Kandungan Fosfor dan Nitrogen.* **Biosfera 21 (3) : 126 – 131.**

Wibowo, D.N. dan A,S. Piranti. 2006. Studi Ekologi Makrofita Akuatik untuk Biomonitoring Status Trofik Ekosistem Waduk. Laporan Hasil Penelitian (Tidak dipublikasikan). Fakultas Biologi. Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto.

Lampiran 1. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data suhu air, transparansi, TSS, dan kekeruhan selama penelitian.

Sumber keragaman	Derajat bebas	Kebermaknaan berdasarkan perbandingan F hitung dengan F tabel 0,05		
		Suhu air	Transparansi	TSS
Ulangan	2			
Musim (M)	1	ns	ns	*
Zona waduk (Z)	2	ns	*	*
M x Z	2	ns	ns	*
Galat	10			
Total	17			

Keterangan : * = bermakna
ns = tidak bermakna

Lampiran 2. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data DHL, pH, dan O_2, selama penelitian.

Sumber keragaman	Derajat bebas	Kebermaknaan berdasarkan perbandingan F hitung dengan F tabel 0,05		
		DHL	pH	O_2
Ulangan	2			
Musim (M)	1	*	ns	*
Zona waduk (Z)	2	ns	ns	ns
M x Z	2	ns	ns	ns
Galat	10			
Total	17			

Keterangan : * = bermakna
ns = tidak bermakna

Lampiran 3. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data COD dan BOD selama penelitian.

Sumber keragaman	Derajat bebas	Kebermaknaan berdasarkan perbandingan F hitung dengan F tabel 0,05	
		COD	BOD
Ulangan	2		
Musim (M)	1	*	ns
Zona waduk (Z)	2	*	ns
M x Z	2	ns	ns
Galat	10		
Total	17		

Keterangan : * = bermakna
ns = tidak bermakna

Lampiran 4. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data N total dan P total selama penelitian.

Sumber keragaman	Derajat bebas	Kebermaknaan berdasarkan perbandingan F hitung dengan F tabel 0,05	
		N total	P total
Ulangan	2		
Musim (M)	1	*	*
Zona waduk (Z)	2	ns	ns
M x Z	2	ns	ns
Galat	10		
Total	17		

Keterangan : * = bermakna
ns = tidak bermakna

Lampiran 5. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data P total dan PO_4 selama penelitian.

Sumber keragaman	Derajat bebas	Kebermaknaan berdasarkan perbandingan F hitung dengan F tabel 0,05	
		P total	PO_4
Ulangan	2		
Musim (M)	1	*	*
Zona waduk (Z)	2	ns	ns
M x Z	2	ns	ns
Galat	10		
Total	17		

Keterangan : * = bermakna
ns = tidak bermakna

Lampiran 6. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data N total, NH_3, NO_3, dan NO_2 selama penelitian.

Sumber keragaman	Derajat bebas	Kebermaknaan berdasarkan perbandingan F hitung dengan F tabel 0,05		
		N total	NH_3	NO_3
Ulangan	2			
Musim (M)	1	*	ns	*
Zona waduk (Z)	2	ns	ns	ns
M x Z	2	ns	ns	ns
Galat	10			
Total	17			

Keterangan : * = bermakna
ns = tidak bermakna

Lampiran 7. Akar ciri dan persentase ragam pada sumbu utama dari hasil analisis korespondensi makrofita akuatik dan stasiun pengamatan pada musim kemarau.

	Sumbu utama			
	F1	F2	F3	F4
Akar ciri (a)	0.145	0.027	0.013	0.006
Ragam (%)	75.916	13.881	6.618	3.096

Lampiran 8. Akar ciri dan persentase ragam pada sumbu utama dari hasil analisis korespondensi makrofita akuatik dan stasiun pengamatan pada musim kemarau.

	Sumbu utama			
	F1	F2	F3	F4
Akar ciri (a)	0.268	0.099	0.067	0.010
Ragam (%)	58.508	21.707	14.639	2.209

Lampiran 9. Personalia Penelitian

No.	Nama dan Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Instansi	Alokasi Waktu
1.	Dr. Dwi Nugroho Wibowo, M.S.	Ekologi Waduk	Fak. Biologi Unsoed	18 jam/minggu
2.	Dra. Agatha Sih Piranti, M.Sc.	Planktonologi	Fak. Biologi Unsoed	12 jam/minggu

Lampiran 10. Sarana dan prasarana penunjang penelitian yang telah dimiliki.

No.	Sarana dan Prasaran	Jumlah
1.	Laboratorium Ekologi	1 buah
2.	Laboratorium Lingkungan	1 buah
3.	Laboratorium Biologi Akuatik	1 buah
4.	Komputer	1 unit
5.	Printer HP	1 unit
6.	Spektrofotometer	2 unit
7.	Turbidimeter	1 unit
8.	Konduktivitimeter	1 unit
9.	Oven	3 unit
10.	AAS	1 unit
11.	Water Sampler	3 unit