(17)

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITASJENDERAL SOEDIRMAN
Jl. Prof. Dr. Bunyamin No. 708 Kotak Pos 115 – Purwokerto 53122
Telp. (0281) 635292,635293 Fax. (0281) 631737,631802

SURAT KEPUTUSAN REKTOR

Nomor : Kept. 191/H23/PL/2009

Tentang
Tugas dan Susunan Pelaksana Penelitian Fundamental
Tahun Anggaran 2009
Di Universitas Jenderal Soedirman

REKTOR UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN

MENIMBANG :
1. Bahwa agar pelaksanaan penelitian Fundamental di Universitas Jenderal Soedirman tahun anggaran 2009 dapat berjalan 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. 30 tahun 1990 tentang Pendidikan Tinggi dan peraturan pemerintah RI No. 57 Tahun 1998 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah No. 30 Tahun 1990 tentang Pendidikan Tinggi;
3. Surat Keputusan Presiden RI No. 170/M tahun 2005, tanggal 14 Oktober 2005 tentang Pengangkatan Rektor Universitas Jenderal Soedirman;

MENDENGAR : Saran dan pertimbangan Pimpinan Universitas Jenderal Soedirman.

MENETAPKAN :

Pertama : Menugaskan kepada Staf Edukatif yang namanya tercantum dalam Lampiran surat keputusan ini untuk melaksanakan penelitian yang judul, biaya, waktu dan tugas dalam penelitian masing-masing termaktub dalam surat keputusan ini selanjutnya disebut "Peneliti"

Kedua : Dalam melaksanakan tugasnya "Peneliti" membuat laporan dan bertanggungjawab kepada Rektor melalui Ketua Lembaga Penelitian Universitas Jenderal Soedirman

Ketiga : Semua biaya yang timbul akibat dikeluarkannya Surat Keputusan ini dibebankan kepada DIPA Universitas Jenderal Soedirman Tahun Anggaran 2009

Keempat : Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dan apabila dikemudian hari ternyata terdapat kekeliruan dalam surat keputusan ini akan diadakan perbaikan seperlunya.

Ditetapkan di : Purwokerto
Pada tanggal : 25 April 2009

Rektor,

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

Tembusan : 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. Ketua Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia di Jakarta
5. Para Pembantu Rektor di lingkungan Unsoed
6. Para Dekan Fakultas di lingkungan Unsoed
7. Para Ketua Lembaga di lingkungan Unsoed
8. Kepala Biro Adm. Umum dan Keuangan Unsoed
9. Kepala Bagian Kepegawaian Unsoed
10. Ketua Tim Penilai Angka Kredit Unsoed.

Lampiran : Surat Keputusan Rektor Universitas Jenderal Soedirman
Nomor Kept : 191/H23/PL/2009 tanggal 25 April 2009
Tentang Tugas dan Susunan Pelaksana Penelitian Fundamental
Universitas Jenderal Soedirman Tahun Anggaran 2009

FAKULTAS BIOLOGI

No.	Nama Personalia	Gol.	Jabatan	Judul Penelitian	Jumlah Dana	Jangka Waktu Penelitian	Keterangan
1	Dr. Ir. Hery Winarsi, M.S. Dra. Erminawati, M.Sc	IV b III c	Kepala Proyek Peneliti I	Karakterisasi Tepung Kelapa Dari Berbagai Jenis dan Umur Petik Kelapa	Rp. 40.000.000	8 bulan	Fundamental Lanjutan
2	Prof. Drs. Agus Irianto, M.Sc., Ph.D Dra. Dini Ryandini, M.Si Dr. Ir. Ning Iriyanti, M.P.	IV a IV a III d	Kepala Proyek Peneliti I Peneliti II	Manipulasi Biofilm Perifiton Menggunakan Bacillus spp. Dan Efek Imunostimulasinya pada Gurami sebagai Upaya Pengendalian Penyakit Infeksi Bakterial	Rp. 37.500.000	8 bulan	Fundamental
3	Dr. rer.nat. Imam Widhiono MZ., M.S. Drs. Arthadi, M.S.	IV b IV b	Kepala Proyek Peneliti I	Pola Kelimpahan Spesies Kupu-Kupu (Rhopalocera, Lepidoptera) sebagai Indikator Kerusakan Ekosistem Hutan	Rp. 33.500.000	8 bulan	Fundamental
4	Dra. Nuraeni Ekowati, M.S. Dr. Rina Sri Kasiandari Drs. Aris Mumpuni, M.Phil	IV a - III d	Kepala Proyek Peneliti I Peneliti II	Keragaman Genetik STRAIN Lentinula edodes Dalam Menghasilkan Metabolit Bioaktif Menggunakan Modifikasi Media Budidaya Jamur	Rp. 40.000.000	8 bulan	Fundamental
5	Ir. Alice Yuniaty, M.Sc., Ph.D Dr. Ir. Hery Winarsi, M.S. dr. Agus Purwanto, M.S.	III b IV b -	Kepala Proyek Peneliti I Peneliti II	Status Antioksidan dan Metilasi DNA Wanita dalam Upaya Deteksi Proses Aging	Rp. 40.000.000	8 bulan	Fundamental
6	Dr. rer.nat. W. Lestari, M.Sc Drs. Sugiharto, M.Si	III d III c	Kepala Proyek Peneliti I	Biopotensi Ikan-Ikan Sungai sebagai Basis Panduan Pemanfaatan Sumberdaya hayati yang Berkelanjutan	Rp. 38.500.000	8 bulan	Fundamental

No.	Nama Personalia	Gol.	Jabatan	Judul Penelitian	Jumlah Dana	Jangka Waktu Penelitian	Keterangan
7	Dr. Nuniek Ina Ratnaningtyas, M.S. Dra. Siti Samiyarsih, M.Si	III d III d	Kepala Proyek Peneliti I	Karakterisasi Ganoderma spp. Di Kabupaten Banyumas serta Uji Peran Basidiosporanya dalam Siklus Penyakit Busuk Batang	Rp. 35.000.000	8 bulan	Fundamental
8	Dra. Farida Nur Rachmawati, M.Si Drs. Untung Susilo, M.S.	III d IV a	Kepala Proyek Peneliti I	Profil Hormon dan Kinerja Reproduksi Ikan Sidat, Anguilla bicolor McClelland : Suatu Kajian Dasar Dalam Upaya Menjaga Kesinambungan Ketersediaan Benih	Rp. 39.000.000	8 bulan	Fundamental
9	Dr. Dwi Nugroho Wibowo, M.S. Drs. Setijanto, M.Sc., St.	IV b IV a	Kepala Proyek Peneliti I	Kajian Ekologi Makroinvertebrata Bentik Sebagai Agen Biomonitoring Tingkat Eutrofikasi Pada Ekosistem Waduk	Rp. 35.000.000	8 bulan	Fundamental
10	Dr. Agus Nuryanto, S.Si., M.Si Drs. Agus Hery Susanto, M.S.	III b IV a	Kepala Proyek Peneliti I	Keragaman Intraspesies Kerang Totok (*Polymesoda erosa*) Di Segara Anakan Cilacap : Acuan Dasar Untuk Pemanfaatannya Secara Lestari	Rp. 34.500.000	8 bulan	Fundamental
11	Romanus Edy Prabowo, S.Si., M.Sc., Ph.D Dr.rer.nat. Erwin Riyanto Ardli, S.Si., M.Sc	III b III b	Kepala Proyek Peneliti I	*Global Invasive* Species Melalui Vektor Kapal Laut : Studi Potensi Kerusakan Ekosistem Oleh Teritip Di Pelabuhan Tanjung Emas dan Tanjung Intan	Rp. 32.500.000	8 bulan	Fundamental

Rektor,

Prof. Dr. Ir. Sudjarwo
NIP. 13052

(2) Yth. Dr. Dwi Nugroho W, MS

(12)

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
LEMBAGA PENELITIAN

Jl. Dr. Suparno Karangwangkal, Purwokerto 53122 Telp. / Fax. (0281) 625739 e-mail: lemlit@unsoed.ac.id

SURAT PERJANJIAN KERJA PELAKSANAAN PENELITIAN
Nomor : 1584.16/H23.6/PL/2009

Pada hari ini Senin tanggal Enam bulan April tahun Dua Ribu Sembilan, kami yang bertandatangan di bawah ini :

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

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

   Kajian Ekologi Makroinvertebrata Bentik Sebagai Agen Biomonitoring Tingkat Eutrofikasi 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
(Jenis Pekerjaan)

PIHAK PERTAMA memberi pekerjaan kepada **PIHAK KEDUA** untuk melaksanakan penelitian Fundamental dan menyerahkan laporan hasil penelitian.

Pasal 2
(Biaya Penelitian)

PIHAK PERTAMA memberikan dana penelitian yang tersebut pada pasal 1 sebesar Rp. 35.000.000,- (Tiga puluh lima juta rupiah) yang dibebankan kepada dana DIPA Universitas Jenderal Soedirman Tahun Anggaran 2009 sudah termasuk pajak sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Adapun pembayaran dilaksanakan secara bertahap sebagai berikut :

(1) Tahap pertama 70 persen sebesar Rp. 24.500.000,- (Dua puluh empat juta lima ratus ribu rupiah) dibayarkan setelah surat perjanjian ini ditandatangani oleh kedua belah pihak.
(2) Tahap kedua 30 persen sebesar Rp. 10.500.000,- (Sepuluh juta lima ratus ribu rupiah) dibayarkan setelah **PIHAK KEDUA** menyerahkan laporan hasil penelitian kepada **PIHAK PERTAMA**

Pasal 3
(Pelaporan)

(1) PIHAK KEDUA wajib menyerahkan laporan hasil penelitian yang termaksud dalam pasal 1 sebanyak 6 (enam) eksemplar beserta softcopynya (CD) selambat-lambatnya tanggal 1 Desember 2009 kepada PIHAK PERTAMA.
(2) PIHAK KEDUA **wajib menyerahkan artikel ilmiah** beserta softcopynya secara terpisah bersamaan dengan penyerahan buku laporan hasil penelitian kepada PIHAK PERTAMA untuk keperluan penyebarluasan hasil penelitian.

Pasal 4
(Format Laporan)

Buku laporan hasil penelitian yang tersebut pada pasal 4 harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :
(1) Ukuran kuarto dengan jarak baris dua spasi.
(2) Warna sampul abu-abu;
(3) Pada bagian bawah sampul ditulis : **"Dilaksanakan atas biaya DIPA Universitas Jenderal Soedirman Tahun Anggaran 2009, Nomor Kontrak 1584.16/H23.6/PL/2009 tanggal 6 April 2009"**

Pasal 5
(Denda dan Sanksi)

(1) Apabila PIHAK KEDUA tidak dapat menyelesaikan penelitian ini sepenuhnya, PIHAK KEDUA akan menunjuk pengganti dari anggota tim.
(2) Apabila pada tanggal 1 Desember 2009 PIHAK KEDUA belum menyerahkan laporan hasil penelitian kepada PIHAK PERTAMA, maka kepada PIHAK KEDUA dikenakan **denda sebesar 5% dari total biaya penelitian** yang tersebut dalam Surat Perjanjian Kerja Pelaksanaan Penelitian.
(3) Apabila dalam waktu 5 (lima) bulan setelah tanggal jatuh tempo PIHAK KEDUA belum juga menyerahkan buku laporan hasil penelitian kepada PIHAK PERTAMA maka **biaya tahap kedua (30%) tidak dapat dicairkan** dengan tetap berkewajiban menyerahkan laporan hasil penelitian kepada PIHAK PERTAMA.

Pasal 6
(Lain-lain)

(1) Segala sesuatu yang belum diatur dalam Surat Perjanjian ini akan ditentukan oleh kedua belah pihak secara musyawarah.
(2) Surat Perjanjian ini dibuat di Purwokerto pada hari, tanggal, bulan dan tahun seperti tersebut diatas dalam rangkap 8 (delapan) yang sama bunyi dan kekuatannya.

PIHAK KEDUA,

Dr. Dwi Nugroho Wibowo, MS

PIHAK PERTAMA

Edy Yuwono, PhD
NIP. 131 569 004

LAPORAN HASIL PENELITIAN

KAJIAN EKOLOGI MAKROINVERTEBRATA BENTIK SEBAGAI AGEN BIOMONITORING TINGKAT EUTROFIKASI PADA EKOSISTEM WADUK

Oleh :

Dr. DWI NUGROHO WIBOWO, M.S.
Drs. SETIJANTO, M.Sc.St.

– – – – – – – – –

DILAKSANAKAN ATAS BIAYA
DIPA UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN TAHUN ANGGARAN 2009
NOMOR KONTRAK: 1584.16/H23.6/PL//2009TANGGAL 6 APRIL 2009

FAKULTAS BIOLOGI
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
TAHUN 2009

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

1. **Judul : Kajian Ekologi Makroinvertebrata Bentik sebagai Agen Biomonitoring Tingkat Eutrofikasi pada Ekosistem Waduk**

2. **Ketua Peneliti**

a. Nama Lengkap	: Dr. Dwi Nugroho Wibowo, MS
b. Jenis Kelamin	: Laki-laki
c. NIP	: 19611125 198601 1 001
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	: 10 bulan
7. Biaya yang Diperlukan	: Rp 35.000.000,00 (Tiga puluh lima juta rupiah)

Purwokerto, 30 Nopember 2009

Mengetahui,
Dekan Fakultas Biologi Unsoed,

Dra. Purnomowati, SU
NIP. 19531021 198103 1 001

Ketua Peneliti,

Dr. Dwi Nugroho Wibowo, MS
NIP. 19611125 198601 1 001

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Jenderal Soedirman,

Drs. Edy Yuwono, Ph.D
NIP. 19621208 198601 1 001

RINGKASAN

KAJIAN EKOLOGI MAKROINVERTEBRATA BENTIK SEBAGAI AGEN BIOMONITORING TINGKAT EUTROFIKASI PADA EKOSISTEM WADUK

Penelitian tentang kajian ekologi makroinvertebrata bentik sebagai agen biomonitoring tingkat eutrofikasi pada 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 makroinvertebrata bentik 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 makroinvertebrata bentik dilakukan dengan mendeskripsikan data keragaman jenis makroinvertebrata bentik. Variasi karakteristika variabel kualitas air dan makroinvertebrata bentik antar stasiun dikaji dengan analisis multivariat yang didasarkan pada analisis komponen utama, sedangkan distribusi spasial makroinvertebrata bentik dianalisis menggunakan analisis faktorial korespondensi. Berdasarkan variasi karakteristik variabel kualitas air, waduk PB Soedirman termasuk kedalam waduk oligotrof. Keragaman makroinvertebrata bentik di waduk PB Soedirman pada musim hujan dan kemarau menunjukkan adanya 22 jenis. Keragaman makroinvertebrata bentik 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 I – VIII dan kelompok kedua terdiri atas stasiun IX yang cenderung didominasi oleh *Goniobasis doolyensis*.

Kata kunci : makroinvertebrata bentik, biomonitoring, status trofik

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wataa'la., karena berkat rahmat dan petunjuk-Nya, laporan penelitian dengan judul "**Kajian Ekologi Makroinvertebrata Bentik sebagai Agen Biomonitoring Tingkat Eutrofikasi pada Ekosistem Waduk"** yang diawali dengan penyusunan usulan penelitian, pelaksanaan penelitian, dan penulisan laporan penelitian ini dapat terselesaikan. Penelitian tahun ini dilaksanakan di waduk PB Soedirman, Kabupaten Banjarnegara yang merupakan waduk dengan status trofik oligotrof.

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 2009

Tim Peneliti

DAFTAR ISI

Halaman

HALAM PENGESAHAN i
RINGKASAN ii
PRAKATA iii
DAFTAR TABEL iv
DAFTAR LAMPIRAN vii

I. PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Identifikasi Masalah 5
1.3. Kerangka Pemikiran 7

II. TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1. Ekologi Makroinvertebrata Bentik 9
2.2. Makroinvertebrata Bentik sebagai Bioindikator 10
2.3. Fungsi Makroinvertebrata Bentik dalam Ekosistem Waduk 12
2.4. Ekosistem Waduk 15
2.5. Hubungan antara Eutrofikasi dengan Makroinvertebrata Bentik 19
2.6. Faktor Pembatas dalam Eutrofikasi 21

III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN 22
3.1. Tujuan Penelitian 22
3.2. Manfaat Penelitian 22

IV. METODE PENELITIAN 23
3.1. Tempat dan Waktu 23
3.2. Bahan dan Alat 23
3.3. Rancangan Penelitian 25
3.4. Pengumpulan Data 26
3.5. Analisis Data 27

V. HASIL DAN PEMBAHASAN …….. 29

5.1. Morfometri Waduk PB Soedirman……..... 29

5.2. Ekologi Waduk PB Soedirman……..... 32

5.3. Hidromorfologi Waduk PB Soedirman……..... 34

5.4. Profil Kualitas Air …… 35

5.5. Sebaran Spasial Temporal Makroinvertebrata Bentik Waduk PB Soedirman 49

VI. KESIMPULAN DAN SARAN …….. 56

6.1. Kesimpulan …….. 56

6.2. Saran ……. 56

DAFTAR PUSTAKA ……... 57

LAMPIRAN ……. 62

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
4.1.	Variabel kualitas air yang diukur, metode analisis, dan peralatan yang digunakan (APHA, 1985) .....……	25
4.2.	Lokasi pengambilan sampel Makroinvertebrata Bentik dan sampel air	26
5.1.	Profil nilai suhu air, transparansi, TSS Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) ……	36
5.2.	Nilai DHL, pH, dan O_2 Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) .....……	39
5.3.	Kandungan COD dan BOD Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) …….……...	41
5.4.	Kandungan N-total dan P-total Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) ……...	43
5.5.	Kandungan P-total dan PO_4 Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) ……...	44
5.6.	Kandungan N-total, NH_3, dan NO_3, dan NO_2 Waduk PB Soedirman selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan)	48
5.7.	Keragaman jenis makroinvertebrata bentik waduk PB Soedirman selama penelitian (musim hujan dan musim kemarai)	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran		Halaman
1.	Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data suhu air, Transparansi, dan TSS Waduk PB Soedirman selama Penelitian ..	62
2.	Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data DHL, pH, dan O_2 selama penelitian ……	62
3.	Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data COD dan BOD selama penelitian ……..……..	63
4.	Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data N total dan P total selama penelitian …….....	63
5.	Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data P total dan PO_4 selama penelitian ..…….……	64
6.	Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data N total, NH_3, dan NO_3 selama penelitian ...…….…….....	64
7.	Akar ciri dan persentase ragam pada sumbu utama dari hasil analisis korespondensi makroinvertebrata bentik dan stasiun pengamatan pada musim kemarau. …….....	65
8.	Akar ciri dan persentase ragam pada sumbu utama dari hasil analisis korespondensi makroinvertebrata bentik dan stasiun pengamatan pada musim kemarau	65
9.	Personalia Peneliti …….....	65
10.	Sarana dan prasarana penunjang penelitian yang dimiliki ..……	66

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Manajemen sumber daya semestinya ditujukan untuk meningkatkan kesejahteraan dan kualitas hidup manusia. Salah satu sumberdaya alam yang penting ialah perairan darat. Perairan darat sangat penting karena fungsinya sangat beragam seperti misalnya untuk pertanian, sumber air minum, keperluan domestik, industri, perikanan, pariwisata, transportasi. Untuk pemanfaatan yang berkelanjutan sumber daya ini, salah satu caranya ialah dengan cara memantau kualitas airnya secara rutin.

Usaha pemantauan kualitas perairan, di negara-negara subtropika seperti misalnya di Inggris, Amerika, dan Australia telah cukup berkembang (Chandler, 1970; Armitage *et al*., 1984). Pendekatan yang dilakukan ialah dengan pendekatan secara biologis. Pendekatan secara biologis dianggap lebih memiliki kelebihan bila dibandingkan dengan metode pengukuran fisikokimiawi air secara langsung. Kelebihan tersebut ialah karena pendekatan secara biologis memberikan hasil lebih akurat kualitas perairan, secara teknik lebih mudah dilakukan, lebih cepat, lebih murah dan dapat memberikan peringatan secara dini (*early warning system*).

Di dalam pemantauan secara biologis terutama terhadap cemaran organik, makroinvertebrata air merupakan kelompok organisme yang dianggap paling memenuhi persyaratan dan paling banyak digunakan sebagai bioindikator kualitas suatu perairan (Boulton & Lake, 1992; Brown & Brussock, 1991; Dermott, 1985; Gupta & Michael, 1992; Richard & Minshall, 1992; Ye *et al*., 1991). Kelimpahan dan spesies makroinvertebrata bentik telah terbukti lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan dibanding biota akuatik lainnya (Berkman *et al*., 1992; Price, 1979).

Di daerah sub tropik penggunaan kelompok hewan ini telah lebih dari setengah abad yang lalu (misal Deevey, 1941). Di Indonesia, sampai saat ini, pemantauan kualitas air secara biologis belum berkembang dengan baik atau digunakan secara luas, meskipun saat ini mulai tumbuh kesadaran terhadap kondisi ekologis suatu ekosistem perairan. Beberapa peneliti telah mencoba mengaplikasikan atau mengakaji pendekatan ini (misal Lestari *dkk*, 1998; Sudarjanti & Marsoedi, 1995).

Untuk memantau besarnya cemaran organik terhadap suatu perairan saat ini telah dikembangkan beberapa metode pendekatan biologis yaitu secara struktural dengan melihat kekayaan spesies dan indeks keragaman serta menggunakan indeks biotik (misal Gammon *et al*., 2000, DeWalt, 1999).

Menurut Alaerts & Santika (1987) salah satu tanda adanya pencemaran organik ialah adanya peningkatan nilai BOD. Sebagaimana diketahui BOD ialah jumlah oksigen yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan hampir seluruh bahan organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air. Pada perairan yang mengalami tekanan lingkungan berupa cemaran organik akan memiliki nilai BOD yang rendah. Tingkat besarnya cemaran organik ini akan sebanding dengan besarnya cemaran organik (Mahida, 1984).

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) makroinvertebrata bentik 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 makroinvertebrata bentik yang dominan dan karateristik.

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).

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

Pengaruh eutrofikasi terhadap ekosistem perairan adalah penurunan diversitas jenis dan terjadinya perubahan jenis, peningkatan biomasa organisme, peningkatan kekeruhan, peningkatan laju sedimentasi, dan perpendekan umur fungsi waduk (Mason, 1991). Informasi tentang makroinvertebrata bentik 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 makroinvertebrata bentik pada Waduk PB Soedirman pada bagian *inlet*, tengah, dan *outlet* waduk, baik pada musim kemarau maupun musim hujan;

(2) bagaimanakah pola zonasi makroinvertebrata bentik 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 makroinvertebrata bentik 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 makroinvertebrata bentik.

Perkembangan makroinvertebrata bentik bergantung pada tingkat kesuburan perairan. Kondisi eutrof adalah kondisi puncak bagi perkembangan makroinvertebrata bentik. 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 makroinvertebrata bentik. 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 Makroinvertebrata Bentik

Makroinvertebrata bentik merupakan hewan yang sebagian atau seluruh siklus hidupnya berada di dasar perairan, baik yang sessil, merayap, maupun menggali lubang (Kandeigh, 1980; Odum, 1994; Rosenberg dan Resh, 1993). Menurut Cummins (1975), makroinvertebrata bentik dapat mencapai ukuran tubuh 3 – 5 mm pada saat pertumbuhan maksimum. Selain itu, makroinvertebrata bentik dapat ditahan dengan saringan No. 30 (APHA, 1975) dan dapat tertahan pada saringan berukuran 200 sampai 500 µm (Rosenberg dan Resh, 1993).

Makroinvertebrata bentik mempunyai peranan penting pada ekosistem perairan seperti pada proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik (Lind, 1985) serta menduduki beberapa tingkatan trofik dalam rantai makanan (Odum, 1994). Hewan tersebut, terutama yang bersifat herbivor dan detritivor, mempercepat proses dekomposisi bahan organik dengan menghancurkan makrofita akuatik yang hidup maupun yang mati dan serasah yang masuk ke dalam ekosistem perairan menjadi potongan-potongan yang lebih kecil sehingga mikroba mudah menguraikan bahan organik menjadi hara tersedia.

Berbagai jenis makroinvertebrata bentik dapat berperan sebagai konsumen primer dan konsumen sekunder atau sebagai konsumen yang menempati posisi trofik yang lebih tinggi. Pada umumnya, makroinvertebrata bentik merupakan makanan alami bagi ikan-ikan pemakan di dasar (*bottom feeder*) (Pennak, 1978; Tudorancea *et al*., 1978).

Eutrofikasi menyebabkan perairan mempunyai kadar hara yang tinggi dan kandungan oksigen terlarut yang rendah, menyebabkan keragaman 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.

2.2. Makroinvertebrata bentik 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 keragaman jenis, serta (d) dominansi jenis.

Kehidupan organisme perairan sangat bergantung pada kondisi lingkungan hidupnya. Pada kondisi lingkungan yang optimal, perkembangan dan pertumbuhan organisme semakin berkembang sehingga populasi menjadi semakin meningkat. Pada kondisi lingkungan yang tidak baik, organisme yang hidup menjadi terganggu dan bahkan menjadi punah.

Makroinvertebrata bentik merupakan organisme yang hidup dan berasosiasi dengan substrat dasar peraian. Sebagai organisme dasar perairan, makroinvertebrata bentik mempunyai habitat yang relatif tetap. Dengan sifat yang demikian, perubahan-perubahan kualitas air dan substrat tempat hidupnya sangat mempengaruhi keragaman dan kelimpahanya. Keragaman dan kelimpahannya

pada suatu ekosistem perairan bergantung pada toleransi atau sensitivitas makroinvertebrata bentik terhadap adanya perubahan lingkungan. setiap komunitas akan memberikan respon terhadap perubahan kualitas habitat dengan cara menyesuaikan diri struktur komunitas tersebut. Pada lingkungan yang relatif stabil, keragaman dan kelimpahan makroinvertebrata bentik relatif tetap (APHA, 1992). Makroinvertebrata bentik merupakan organisme yang paling sesuai digunakan sebagai organisme indikator (bioindikator) ekosistem perairan karena tidak mampu bermigrasi ke tempat lain jika kondisi lingkungannya mengalami perubahan. Makroinvertebrata bentik yang mampu bertahan terhadap perubahan lingkungannya akan tetap hidup dan yang tidak mampu beradaptasi akan mengalami kematian.

Berdasarkan kepekaannya terhadap pencemaran adanya bahan organik, makroinvertebrata bentik dikelompokkan dalam kelompok intoleran, fakultatif, dan toleran. Organisme intoleran merupakan organisme yang mampu tumbuh dan berkembang pada kisaran kondisi lingkungan yang sempit dan jarang dijumpai di ekosistem perairan yang kaya bahan organik. Organisme tersebut tidak mampu beradaptasi pada kondisi ekosistem perairan yang mengalami penurunan kualitas. Organisme fakultatif merupakan organisme yang mampu bertahan hidup pada kisaran kondisi lingkungan yang lebih lebar. Organisme ini mampu bertahan hidup pada ekosistem perairan yang banyak mengandung bahan organik, namun tidak mampu mentolelir adanya tekanan lingkungan. Organisme toleran merupakan organisme yang mampu tumbuh dan berkembang pada kisaran kondisi lingkungan yang luas. Organisme ini sering dijumpai pada ekosistem perairan yang jelek. Pada umumnya, organisme ini tidak peka terhadap berbagai takanan

lingkungan dan kelimpahannya dapat bertambah di ekosistem perairan yang tercemar bahan organik.

2.3. Fungsi Makroinvertebrata Bentik dalam Ekosistem Waduk

Berkembangnya kegiatan penduduk di sekitar ekosistem waduk dan Daerah Aliran Sungai (DAS), seperti bertambahnya pemukiman penduduk, kegiatan industri rumah tangga, kegiatan pertanian, kegiatan perikanan dengan keramba jaring apung, dan kegiatan pertanian dapat berpengaruh terhadap kualitas air. Limbah yang dihasilkan dari kegiatan penduduk tersebut sering kali dibuang langsung ke waduk. Selain itu, intensifikasi air irigasi akan menyebabkan timbulnya berbagai permasalahan (Handayani *et al.*, 2001). Masukan bahan-bahan organik yang dihasilkan dari aktivitas manusia di sekitas DAS sampai pada batas-batas tertentu tidak akan berpengaruh terhadap terhadap kualitas air waduk. Namun demikian, apabila beban masukan bahan-bahan organik tersebut melebihi kemampuan waduk untuk membersihkan diri (*self puriphication*), maka akan mengakibatkan timbulnya permasalahan serius yaitu terjadinya pencemaran (eutrofikasi). Kondisi demikian akan berakibat terganggunya kehidupan biota perairan.

Penambahan bahan organik maupun anorganik berupa limbah ke dalam perairan, selain akan mengubah susunan kimia air, juga akan mempengaruhi sifat-sifat biologi ekosistem waduk. Banyaknya bahan organik dalam perairan akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen terlarut dalam perairan. Apabila kondisi ini berlangsung lama akan mengakibatkan pe rairan menjadi anaerob, sehingga organisme aerob akan mati. Selain itu, diketahui juga bahwa banyak senyawa

organik yang bersifat tosik seperti fenol, pestisida, dan surfaktan dapat menimbulkan kematian plankton, makroinvertebrata bentik, dan ikan.

Adanya perubahan atau degredasi lingkungan perairan dapat dievaluasi (*assess*) secara biologis dengan melihat perubahan struktural komunitas makroinvertebrata bentik (Gray & Fisher, 1981 dan Wallace *et al*., 1989) dan dengan melihat nilai indeks biotiknya. Kekayaan jenis, kelimpahan tiap jenis, dan indeks keragaman merupakan komponen struktur suatu komunitas (Begon *et al*., 1990 dan Krebs, 1985).

Proses pencemaran organik menentukan komposisi jenis makrofita akuatik dan makroinvertebrata bentik dalam badan air. Hasil penelitian Wibowo (2004a, 2004b, dan 2005) serta Wibowo & Piranti (2006 dan 2007) menunjukkan adanya perbedaan jenis dan biomassa makrofita akuatik pada musim kemarau dan musim hujan di beberapa waduk di Jawa Tengah. Makroinvertebrata bentik merupakan elemen kunci di ekosistem perairan yang dapat digunakan sebagai alat pengklasifikasian ekosistem perairan karena distribusi dan komposisi jenisnya mencerminkan karakter daerah tangkapan.

Bertambahnya *influx* cemaran organik dalam badan air menyebabkan ekosistem perairan menjadi lingkungan tumbuh yang cocok bagi makroinvertebrata bentik tertentu. Jenis organisme tertentu tersebut akan mempunyai kelimpahan yang tinggi dengan diversitas (keragaman) yang rendah.

Perubahan tersebut dapat dipantau secara biologi dengan menganalisis perubahan struktural makroinvertebrata bentik yang hidup di dalamnya. Pada perairan yang mengalami pencemaran oganik akan mengalami penurunan keragaman jenis, penurunan indeks keragaman, dan terjadi domonasi jenis yang

toleran (Brown *et al.*, 1986; Gray & Fisher, 1981; Ritz *et al.*, 1989; Wallace *et al.*, 1989).

Odum (1993) menjelaskan bahwa komponen biotik dapat memberikan gambaran mengenai kondisi fisika, kimia, dan biologi dari suatu ekosistem waduk. Salah satu biota yang dapat digunakan sebagai parameter biologi dalam menentukan kondisi suatu ekosistem waduk adalah makroinvertebrata bentik. Sebagai organisme yang hidup di perairan waduk, makroinvertebrata bentik sangat peka terhadap perubahan kualitas air tempat hidupnya sehingga akan berpengaruh terhadap keragaman dan kelimpahannya. Hal ini bergantung pada toleransinya terhadap perubahan lingkungan, sehingga makroinvertebrata bentik tersebut sering dipakai sebagai indikator tingkat pencemaran (tingkat eutrofikasi) suatu ekosistem waduk.

Makroinvertebrata bentik terdapat diseluruh badan waduk, mulai dari bagian *inlet* hingga bagian *outlet*. Dengan keberadaan makroinvertebrata bentik yang hidupnya menetap dengan waktu yang relatif lama, maka makroinvertebrata bentik adapat digunakan sebagai penduga status suatu ekosistem waduk. Penggunaan makroinvertebrata bentik sebagai penduga kualitas air dapat digunakan untuk kepentingan monitoring tingkat eutrofikasi, baik yang berasal dari *point sourse pollution* maupun *diffuse source pollution*.

Melalui serangkaian pengamatan, pengukuran sifat fisika kimia air dan keragaman jenis makroinvertebrata bentik dapat ditentukan tingkat eutrofikasi ekosistem waduk. Dari gambaran tersebut diharapkan dapat diungkapkan jenis-jenis makroinvertebrata bentik yang diduga dapat digunakan sebagai bioindikator tingkat eutrofikasi suatu eksosistem waduk serta faktor fisika kimia apa saja yang

terutama mempenaruhi keberadaan makroinvertebrata bentik pada suatu ekosistem waduk.

Hellawel (1989) dan Rosenberg & Wiens (1989) menjelaskan bahwa karakteristik ideal organisme indikator adalah a) mudah diidentifikasi, b) tersebar secara kosmopolian, c) kelimpahannya dapat dihiting, d) variabilitas ekologi dan genetik rendah, e) ukuran tubuh reatif besar, f) mobilitasnya terbatas dan masa hidup relatif lama, g) karakteristik ekologi diketahui dengan baik, dan h) terintegrasi dengan kondisi lingkungan, serta i) dapat digunakan pada studi skala laboratorium.

Beberapa jenis makroinvertebrata bentik sering dipakai sebagai spesies indikator pencemaran bahan organik (misal, eutrofikasi) dan dapat memberikan gambaran yang lebih tepat dibandingkan pengujian secara fisika-kimia (Hynes, 1978). Kelebihan penggunaan makroinvertebrata bentik sebagai agen biomonitoring eutrofikasi adalah karena jumlahnya relatif banyak, bersifat immobil, mudah ditemukan, mudah dikoleksi dan diidentifikasi, dan memberikan respon yang berbeda terhadap kandungan bahan organik (Abel, 1989; Helawel, 1986; Rosenberg & Wiens, 1989). Kelemahannya, sebaran makroinvertebrata bentik mengelompok dan dipengaruhi berbagai faktor hidrologi seperti kecepatan arus dan kondisi substrat dasar (Hawkes, 1978)

2.4. Ekosistem Waduk

Waduk, danau, dan bendungan merupakan salah satu bentuk ekosistem perairan yang menempati daerah yang relatif sempt pada permukaan bumi dibandingkan dengan ekosistem laut dan daratan. Bagi manusia, kepentingannya jauh lebih berarti dibandingkan dengan luas daerahnya. Keberadaan ekosistem

tersebut memberikan fungsi yang menguntungkan bagi kehidupan manusia (rumah tangga, industri, dan pertanian). Beberapa fungsi penting ekosistem tersebut adalah 1) sebagai sumber plasma nutfah yang berpotensi sebagai penyumbang bahan genetik, 2) sebagai tempat berlangsungnya siklus hidup jenis flora fauna yang penting, 3) sebagai sumber air yang dapat digunakan langsung oleh masyarakat sekitarnya (rumah tangga, industri, dan pertanian), 4) sebagai tempat penyimpanan kelebihan air yang berasal dari air hujan, aliran permukaan, sungai-sungai, atau dari sumber air bawah tanah, 5) sebagai sarana transportasi, 6) sebagai penghasil energi (PLTA), dan 7) sebagai sarana rekreasi dan objek pariwisata (Kumurur, 2002).

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 danau, waduk, dan bendungan menimbulkan beberapa masalah, antara lain pendangkalan, ledakan pertumbuhan makrofita akuatik dan makroinvertebrata bentik, 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. Bergantung 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 non-air. Untuk kelestarian waduk, persyaratan kebersihan perairan hendaknya dijadikan pedoman pokok dalam pengelolaan waduk.

2.5. Hubungan antara Eutrofikasi dengan Makroinvertebrata Bentik

Struktur komunitas makroinvertebrata bentik dipengaruhi berbagai faktor lingkungan abiotik dan biotik. Secara abiotik, faktor lingkungan yang mempengaruhi keberadaaan makroinvertebrata bentik adalah faktor fisika kimia lingkungan ekosistem waduk, diantaranya penetrasi cahayayang berpengaruh terhadap suhua air, substrat dasar, kandungan unsur kimia seperti okasigen terlarut dan kandungan ion hidrogen (pH), serta kandungan hara. Sedangkan secara biologis, diantaranya adanya interaksi spesies serta pola siklus hidup dari masing-masing spesies dalam suatu komuntas (Tudorancea *et al.*, 1979). Secara skematis, Hawkes (1978) mengemukakan 14 faktor yang mempengarui keberadaan makroinvertebrata bentik di perairan, sembilan diantaranya merupakan faktor penentu kualitas air.

Penggunaan makroinvertebrata bentik sebagai indikator kualitas perairan (eutrofikasi) dapat dinyatakan dalam bentuk indeks biologi. Cara tersebut telah dikenal sejak abad ke-19 dengan pemikiran bahwa terdapat kelompok makroinvertebrata bentik tertentu yang hidup pada ekosistem perairan yang tercemar. Jenis makroinvertebrata bentik tersebut berbeda dengan jenis-jenis organisme yang hidup di perairan tidak tercemar. Oleh para ahli Bilogi Perairan, pengetahuan ini dikembangkan sehingga perubahan struktur dan komposisi organisme perairan (makroinvertebrata bentik) terhadap perubahan kondisi habitat (misal, karena eutrofikasi) dapat dijadikan indikator kualitas perairan (Abel, 1989; Rosenberg & Resh, 1993).

Keragaman jenis, disebut juga keheterogenan jenis, merupakan ciri yang unik untuk menggambarkan struktur komunitas di dalam organisme kehidupan.

Suatu komunitas dikatakan mempunyai keragaman jenis yang tinggi jika kelimpahan masing-masing jenis tinggi. Keragaman jenis dikatakan rendah jika hanya terdapat beberapa jenis yang melimpah.

Indeks keragaman jenis (H') merupakan gambaran keadaan populasi organisme secara matematis dalam upaya mempermudah penganalisisan informasi-informasi jumlah individu masing-masing jenis dalam sustu komunitas. Indeks keragaman Shannon-Wiener merupakan contoh indeks keragaman jenis yang banyak digunakan.

Dalam memperoleh gambaran hubungan antara faktor fisika kimia air waduk dengan struktur komunitas makroinvertebrata bentik dilakukan dengan menggunakan analisis regresi. Analisis yang lebih detail dapat dilakukan dengan *principle components analyis* (PCA). Dari gambaran tersebut diharapkan dapat diungkapkan jenis-jenis makroinvertebrata bentik yang diduga dapat digunakan sebagai agen biomonitoring kualitas perairan (misal eutrofikasi) serta faktor fisika kimia apa saja yang mempengaruhi keberadan makroinvertebrata bentik di suatu ekosistem perairan (waduk).

Sebagai organisme yang hidupnya cenderung menetap di dasar perairan, pemanfaatan makroinvertebrata bentik untuk mengetahui kualitas eksosistem perairan dapat memberikan gambaran kondisi perairan dengan lebih tepat. Penentuan kualitas air (eutrofiksi) eksosistem waduk dengan menggunakan makroinvertebrata bentik dapat dilakukan dengan menghitung tingkat keragaman, keseragaman, dan dominansi, serta dengan menggunakan model-model kelimpahan.

2.6. Faktor Pembatas dalam Eutrofikasi

Faktor pembatas dalam proses eutrofikasi mengikuti hukum minimum Liebig (Odum, 1971), yaitu bahwa keragaman dan pertumbuhan organisme 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 organisme.

Konsep yang disebutkan diatas mendukung hubungan kuantitatif antara konsentrasi hara dengan keragaman makroinvertebrata bentik. 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 dan merupakan salah satu cara untuk mengetahui intensitas proses eutrofikasi yang akhirnya akan menentukan keragaman makroinvertebrata bentik.

III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian adalah untuk mendapatkan informasi tentang diversitas makroinvertebrata bentik 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 makroinvertebrata bentik di Waduk PB Soedirman pada bagian *inlet*, tengah, dan *outlet* waduk, baik pada musim kemarau maupun musim hujan;

(2) mempelajari pola zonasi makroinvertebrata bentik Waduk PB Soedirman.

3.2. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah didapatkannya informasi tentang diversitas makroinvertebrata bentik 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 (makroinvertebrata bentik) 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 makroinvertebrata bentik untuk biomonitoring status trofik waduk yang dilaksanakan di waduk PB Soedirman, Kecamatan Bawang, Kabupaten Banjarnegara dilaksanakan pada musim hujan dan musim kemarau tahun 2009. Pengambilan sampel makroinvertebrata bentik dilaksanakan di substrat dasar waduk. Identifikasi jenis, pengukuran kelimpahan makroinvertebrata bentik, 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 makroinvertebrata bentik yang menjadi objek penelitian diambil dari substrat dasar waduk PB Soedirman, Kecamatan Bawang, Kabupaten Banjarnegara dengan keragaman tertentu.

Alat yang digunakan adalah alat-alat yang diperlukan di laboratorium dan di lapang, yaitu termometer, botol winkler, *water sampler*, kertas pH universal, konduktivitimeter, spektrofotometer, eckman grab, gelas ukur, gelas piala, buret, pipet ukur, inkubator BOD, DO meter, oven, timbangan analitik, penangas, 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.	Makroinvertebrata bentik	Identifikasi	Eckman Grab

4.3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode survei dan data sampel air dan makroinvertebrata bentik diambil secara *selected sampling site*. Sampel air dan makroinvertebrata bentik 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, keragaman dan kelimpahan makroinvertebrata bentik.

Tabel 4.2. Lokasi pengambilan sampel makroinvertebrata bentik 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 pemukiman Wanadadi
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 makroinvertebrata bentik dan sampel air dilakukan di substrat dasar perairan dan daerah eufotik. Penentuan kedalaman daerah eufotik dilakukan dengan metode keping Secchi. Makroinvertebrata bentik diambil dari substrat dasar waduk dengan menggunakan Eckman Grab dan dimasukkan dalam botol sampel untuk kemudian dilakukan identifikasi jenis dan penghitungan kelimpahannya. Bersamaan dengan pengambilan makroinvertebrata bentik

dilakukan pengambilan sampel air. Keragaman makroinvertebrata bentik dinyatakan dalam jumlah jenis atau marga.

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 makroinvertebrata bentik 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 makroinvertebrata bentik 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 makroinvertebrata bentik) dan kolom (stasiun). Perhitungan analisis komponen utama dan analisis faktorial korespondensi tersebut dilakukan dengan menggunakan paket statistik *Xlstat* versi 7.

Keragaman makroinvertebrata bentik diperlukan untuk menerangkan keberadaan jumlah individu yang tidak sama antar jenis dalam suatu komunitas. Keragaman tersebut ditentukan dengan menghitung jumlah jenis atau marga 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 keragaman jenis, kemerataan, dan biomassa makroinvertebrata bentik.

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* dipercepat. Jenis *Mimosa pigra* mendominasi daerah substrat keras. Pada bagian hulu waduk daerah pasang surut berupa lumpur lunak dengan dominansi pertumbuhan *E. crassipes*. 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*. Bagian waduk di sekitar daerah pemukiman dan daerah sekitar karamba banyak dijumpai *Hydrilla verticilata*.

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 akuatik yang ditemukan adalah jenis yang pertumbuhannya cepat, seperti *Cyperus* sp. dan *Frimbistilis* sp.. Keragaman 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). Dengan kondisi seperti itu, diperkirakan umur fungsi Waduk PB Soedirman tidak akan tercapai sesaui dengan perkiraan dan harapan awal.

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. Makroinvertebrata bentik merupakan faktor biologi lain, yang keberadaan sangat ditentukan oleh kondisi substrat dan faktor fisiko-kimia airnya.

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 tidak subur. Namun demikian, aktivitas antropogenik seperti perkebunan, pertanian, industri, dan limbah domestik akan sangat menentukan tingkat 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 dan makroinvertebrata bentik (Abel, 1989).

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	27,3a A	27,7a A	17,3e E	47,3e E	65,33i I	10,00j J
Tengah	27,7a A	29,3a A	21,7e E	194,7f E	39,33i I	16,00i J
Outlet	27,3a A	27,3a A	24,3f E	198,3f E	34,67i I	14,67i 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 *inlet* waduk yang merupakan daerah

percampuran masuknya air ke dalam badan 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 10,00 mgL^{-1} sampai 16,00 mgL^{-1}, sedangkan pada musim hujan berkisar antara 34,67 mgL^{-1} sampai 65,33 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 akan berakibat terjadinya penrunan 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 160,00 sampai 173,33 pada musim kemarau dan berkisar antara 150,33 sampai 166,67 pada musim hujan. Pada musim kemarau nilai DHL cenderung lebih tinggi dengan kisaran yang sempit 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). Pada musim kemarau pH air pada ketiga zone adalah sama yaitu 7,00 dan berkisar antara 7,00 sampai 7,33 pada 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.

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	166,67a A	173,33a B	7,00e E	7,00e E	8.80i I	7,13i J
Tengah	160,00a A	171,67a B	7,00e E	7,33e E	9,00i I	6,86i J
Outlet	150,33a A	160,00a B	7,00e E	7,00e E	10,20i I	6,13i J

Berdasarkan sidik ragam, data pH dan kandungan O_2 terlarut tak beragam, sedangkan efek musim terhadap DHL 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.

Kandungan O_2 terlarut waduk PB Soedirman berbeda antara musim kemarau dan musim hujan (Lampiran 2). Kandungan O_2 terlarut berkisar antara 6,13 mgL^{-1} sampai 7,13 mgL^{-1} pada musim kemarau dan berkisar antara 8.80 mgL^{-1} sampai 10,20 mgL^{-1} pada musim hujan. Kandungan O_2 terlarut pada musim kemarau lebih rendah dibandingkan pada musim hujan. Hal itu berkaitan dengan melimpahnya makrofita akuatik dan banyaknya sampah yang terbawa dari bagian hulu sungai pada musim hujan. Selain itu dengan adanya penambahan air pada musim hujan, berakibat timbulnya aliran air sehingga terjadi pengadukan air. Proses menyebabkan penambahan oksigen terlarut yang berasal dari udara. 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.

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 12,66 mgL^{-1} sampai 56,00 mgL^{-1}, sedangkan pada musim hujan berkisar antara 28,00 mgL^{-1} sampai 70,00 mgL^{-1}.

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	28,00a A	45,33ab A	10,46f E	5,10e F
Tengah	68,00a A	56,00b A	7,66e E	5,00e E
Outlet	70,00a A	12,66a A	7,74e E	4,74e E

Berdasarkan sidik ragam, efek musim dan zone waduk terhadap COD dan BOD teruji bermakna (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.

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

Secara umum, nilai BOD air waduk PB Soedirman menunjukkan 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 4,74 mgL^{-1} sampai 5,10 mgL^{-1} pada musim kemarau dan berkisar antara 7,66 mgL^{-1} sampai

10,46 mgL^{-1} pada musim hujan. Namun demikian, zone *inlet* 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 7,0000 mgL^{-1} sampai 8,6667 mgL^{-1} dan pada musim hujan berkisar antara 9,5130 mgL^{-1} sampai 10,6927 mgL^{-1}.

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 0,9148 mgL^{-1} sampai 1,1904 mgL^{-1}, sedangkan pada musim kemarau berkisar antara 0,01367 mgL^{-1} sampai 0,0220 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	9,5130a A	8,3622a B	0,9148e E	0,0220e F
Tengah	10,6927a A	7,0000a B	1,1904e E	0,0140e F
Outlet	10,6343a A	8,6667a B	0,9990e E	0,01367e 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.

Berdasarkan kandungan N total dan P totalnya, waduk PB Soedirman tergolong pada perairan dengan status oligotrof (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.

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 0,0049 mgL^{-1} sampai 0,0103 mgL^{-1} dan pada musim hujan berkisar antara 0,2048 mgL^{-1} sampai 0,2733 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	0,9148e E	0,0220e F	0,2262e E	0,0103e F
Tengah	1,1904e E	0,0140e F	0,2048e E	0,0049e F
Outlet	0,9990e E	0,01367e F	0,2733e E	0,0049e 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 4,74 mgL^{-1} sampai 5,10 mgL^{-1} pada musim kemarau dan berkisar antara 7,66 mgL^{-1} sampai 10,46 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 0,0049 mgL^{-1} sampai 0,0103 mgL^{-1} dan musim hujan berkisar 0,2048 mgL^{-1} sampai 0,2733 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	9,5130a A	8,3622a B	0,2827e E	0,2699e E	2,0929i J	0,4744i I
Tengah	10,6927a A	7,0000a B	0,3321e E	0,3189e E	2,5230i J	0,4985i I
Outlet	10,6343a A	8,6667a B	0,3551e E	0,3281e E	2,6723i J	0,5607i 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 Makroinvertebrata Bentik 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 makroinvetebrata bentik yang hidup adalah jenis makroinvetebrata bentik 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 makroinvetebrata bentik. Pengukuran keragaman jenis suatu komunitas harus memperhatikan area, waktu, dan jenis makroinvetebrata bentik. Secara sederhana keragaman jenis dapat diukur dengan menghitung jumlah jenis, biomasa, dan kelimpahan relatif (Krebs, 1972; Poole, 1974; dan Pielo, 1975).

Proses eutrofikasi yang mempunyai faktor pembatas hara N dan P menyebabkan perbandingan kedua hara tersebut atau rasio N/P menentukan komposisi jenis makroinvetebrata bentik dalam badan air. Makroinvetebrata bentik

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).

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

No.	Nama jenis
1.	*Elimia buffyae*
2.	*Elimia clenchi*
3.	*Elimia* sp.
4.	*Elimia vanhningiana*
5.	*Goniobasis doolyensis*.
6.	*Lymnaea* sp.
7.	*Physa acuta*.
8.	*Sphaeridae* sp.
9.	*Malanoides terriculla*
10.	*Malanoides tuberculata*
11.	*Terebia granifera*
12.	*Marisa cormauarietas*
13.	*Pomacea* sp.
14.	*Corbicullidae* sp.
15.	*Physidae*
16.	*Margaritiferridae*
17.	*Chironomus* sp1.
18.	*Chironomus* sp2.
19.	*Tubifex* sp.
20.	*Oligochaeta* sp1.
21.	*Philopotamidae*
22.	*Ceratophallus* sp.

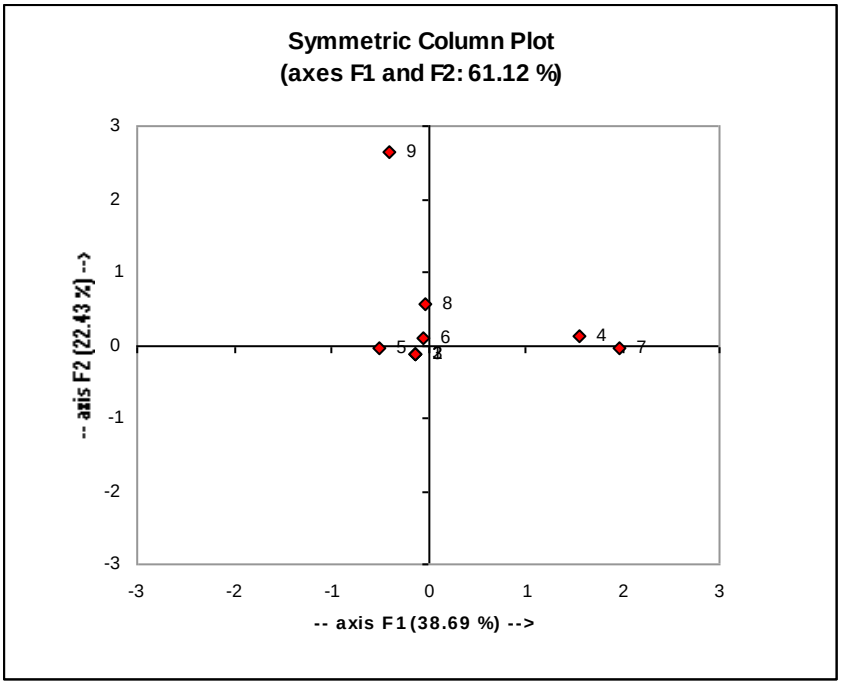
Keragaman jenis makroinvetebrata bentik Waduk PB Soedirman selama masa penelitian tersaji pada Tabel 5.7. Pada penelitian di Waduk PB Soedirman, baik pada musim kemarau maupun musim hujan, makroinvertebrata bentik yang diketemukan

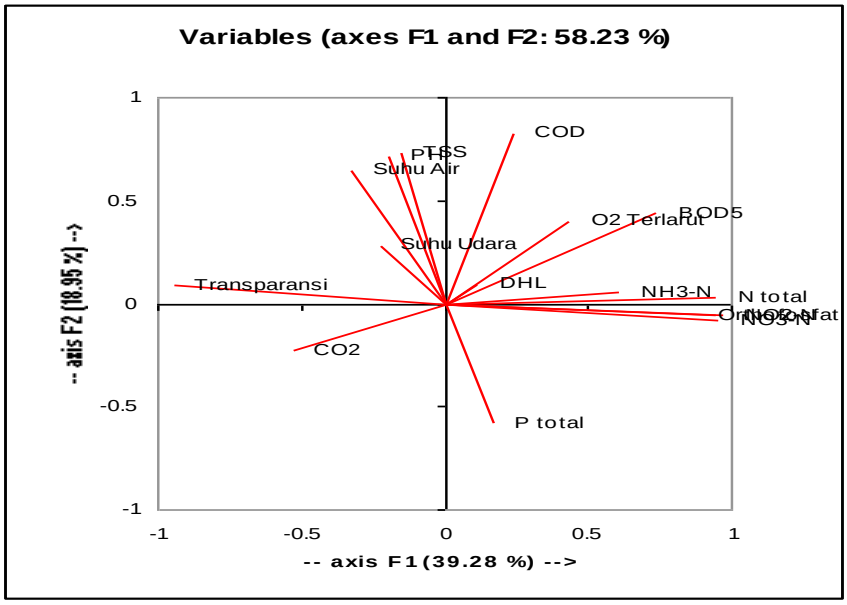
adalah 22 jenis. Pada musim kemarau dan hujan, jenis makroinvertebrata bentik didominasi oleh *Goniobasis doolyensis*, terutama pada bagian hulu waduk dan daerah karamba. Pada daerah karamba, di musim kemarau tanaman ini mendominasi bersama-sama dengan *Malanoides tuberculata, Chironomus* sp1. dan *Chironomus* sp2.

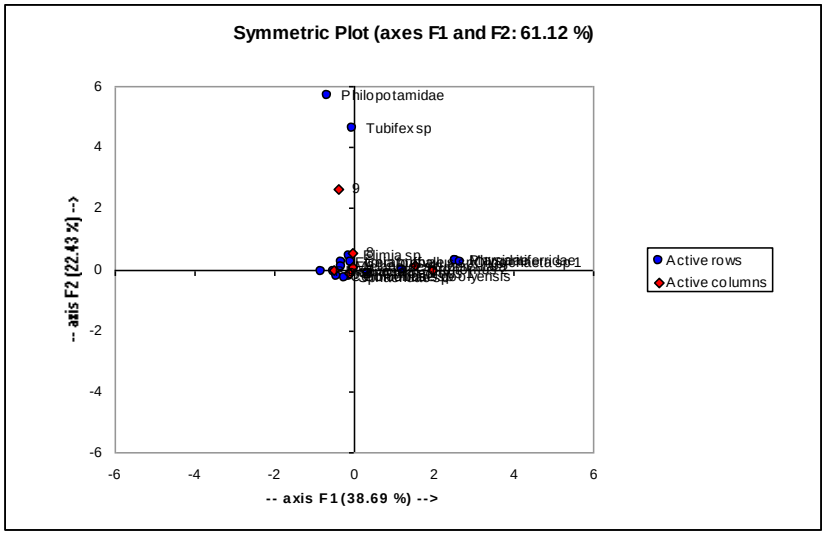
Keragaman jenis makroinvetebrata bentik pada waduk PB Soedirman didominasi oleh *Goniobasis doolyensis*. Jenis makroinvertebrata bentik yang lain adalah *Malanoides tuberculata, Chironomus* sp1. dan *Chironomus* sp2.

Hasil analisis faktorial korespondensi makroinvertebrata bentik pada stasiun pengamatan pada musim kemarau menunjukkan adanya kontribusi empat sumbu utama secara bersama-sama sebesar 61,12% dari ragam total, dengan masing-masing menjelaskan 38,7%, 22,4%, 18,1%, dan 8,9% (Lampiran 7).

Grafik hasil analisis faktorial korespondensi antara jenis makroinvertebrata bentik dengan stasiun pengamatan pada musim kemarau tersaji pada Gambar 5.1. Pada gambar tersebut memperlihatkan adanya 2 kelompok stasiun. Kelompok 1 terdiri dari stasiun I dan VIII yang tidak dicirikan dengan kehadiran jenis makroinvertebrata bentik tertentu dan kelompok 2 terdiri dari stasiun IX.


Symmetric Column Plot
(axes F1 and F2: 61.12 %)
-- axis F2 (22.43 %) -->
-- axis F1 (38.69 %) -->
9
8
6
4
5
7
3
2
1
0
-1
-2
-3

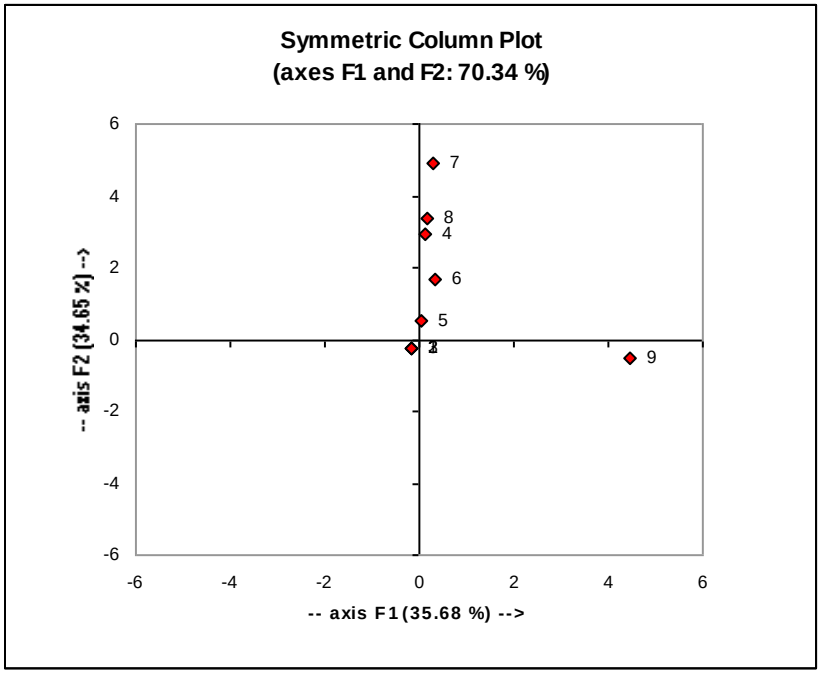

Variables (axes F1 and F2: 58.23 %)
-- axis F2 (18.95 %) -->
-- axis F1 (39.28 %) -->
COD
PTSS
Suhu Air
BOD5
O2 Terlarut
Suhu Udara
Transparansi
DHL
NH3-N
N total
CO2
P total
1
0.5
0
-0.5
-1

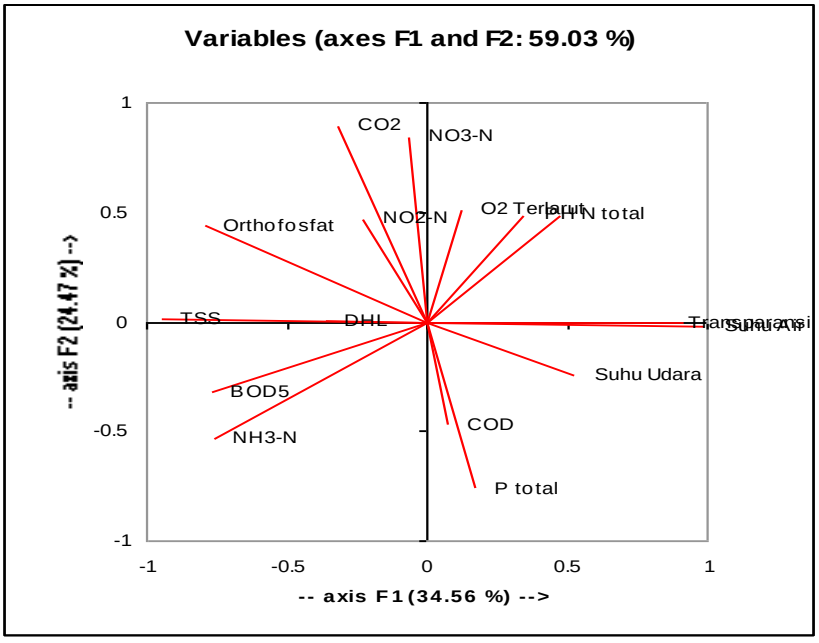


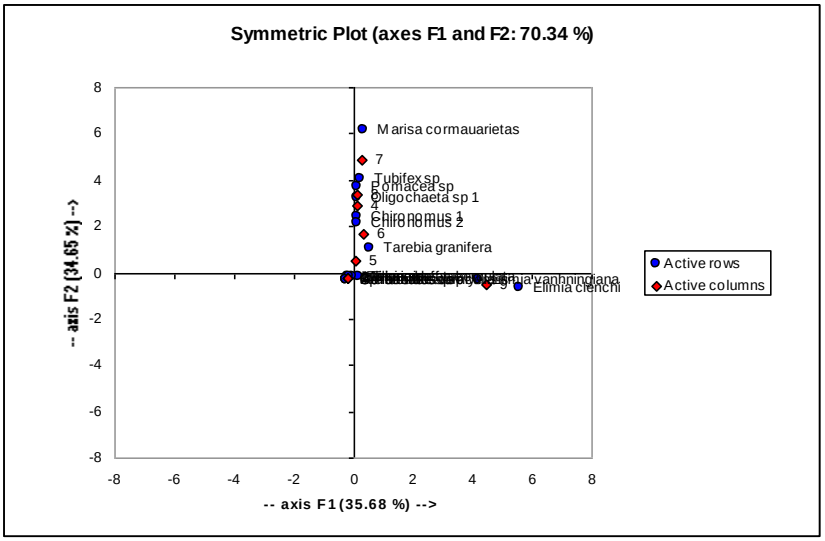
Gambar 5.1. Korespondensi Faktorial antara makroinvertebrata bentik dengan stasiun pengamatan pada musim kemarau.

Hasil analisis faktorial korespondensi makroinvertebrata bentik pada stasiun pengamatan pada musim hujan menunjukkan adanya kontribusi empat sumbu utama secara bersama-sama adalah 70,3% dari ragam total, dengan masing-masing menjelaskan 35,7%, 34,7%, 12,3%, dan 11,2% (Lampiran 8).

Korespondensi faktorial antara jenis makroinvertebrata bentik dengan stasiun pengamatan pada musim hujan tersaji pada Gambar 5.2. Pada gambar tersebut memperlihatkan adanya dua kelompok stasiun. Kelompok 1 terdiri dari stasiun I sampai VIII. Dan kelompok 2 terdiri dari stasiun IX.


Symmetric Column Plot
(axes F1 and F2: 70.34 %)
6
4
2
0
-2
-4
-6
-6
-4
-2
0
2
4
6
7
8
4
6
5
9
-- axis F2 (34.65 %) -->
-- axis F1 (35.68 %) -->


Variables (axes F1 and F2: 59.03 %)
1
0.5
0
-0.5
-1
-1
-0.5
0
0.5
1
CO2
NO3-N
NO2-N
O2 Terlarut
TTN total
Orthofosfat
TSS
DHL
Transparansi
Suhu Air
Suhu Udara
BOD5
NH3-N
COD
P total
-- axis F2 (24.47 %) -->
-- axis F1 (34.56 %) -->



Gambar 5.2. Korespondensi Faktorial antara makroinvertebrata bentik dengan stasiun pengamatan pada musim hujan.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

(1) Waduk PB Soedirman mempunyai keragaman makroinvertebrata bentik sebanyak 22 jenis. *Goniobasis doolyensis* merupakan makroinvertebrata bentik dominan di waduk PB Soedirman. Jenis lain yang diketemukan adalah *Malanoides tuberculata*, *Chironomus* sp1. dan *Chironomus* sp2.

(2) Pada musim kemarau dan musim hujan, diversitas makroinvertebrata bentik waduk PB Soedirman tersebar tidak merata antar zone waduk dan terbagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama terdiri atas stasiun I - VIII. Kelompok kedua terdiri atas stasiun IX

6.2. Saran

(1) Pemanfaatan makroinvertebrata bentik sebagai organisme indikator tingkat eutrofikasi 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 mesotrof dan eutrof untuk melengkapi dan memperkuat data-data penelitian yang telah penulis lakukan pada waduk oligotrof.

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.**

Handayani, St., B. Suharto, & Marsoedi. 2001. *Penentuan Status Kualitas Perairan Sungai Brantas Hulu dengan Biomonitoring Makrozoobentos: Tinjauan dari Pencemaran Bahan Organik.* **Biosain 1(1): 30 – 38.**

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

Hawkes, HA. 1978. *Invertebrates as Indicators of River Water Quality.* Dalam : James & L. Evison (Ed). Biological Indicator of Water Quality. John Wiley & Sons. Toronto.

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.

Kendeigh, SC. 1980. *Ecology with Spatial Reference to Animal and Man*. Prantice Hall of India. Private Limited. New Delhi.

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.

Kumurur, V.A. 2002. *Aspek Strategis Pengelolaan Danau Tornado Secara Terpadu.* **Ekoton 2(1) : 73 - 80**

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.

Lind, OT. 1985. *Handbook of Common Mrthods in Limnology.* CV. Mosby. St. Louis.

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.

Pennak, RW. 1978. *Freshwater Invertebrate of The United State*. 2nd ed. John Willey and Sons. New York

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.**

Rosenberg, DM. & VH. Resh. 1993. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macoinvertebrates.* Chapman and Hall. New York. London.

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.

Tudorancea, C, RH. Green, & J. Huebner. 1978. *Structure Dynamics and Production of the Benthic Fauna in Lake Manitoba.* **Hydrobiologia 64(1): 59-95.**

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	*	*
Zona waduk (Z)	2	*	ns
M x Z	2	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 makroinvertebrata bentik dan stasiun pengamatan pada musim kemarau.

	Sumbu utama			
	F1	F2	F3	F4
Akar ciri (a)	0,367	0,213	0,172	0,085
Ragam (%)	38,687	22,432	18,071	8,950

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

	Sumbu utama			
	F1	F2	F3	F4
Akar ciri (a)	0,643	0,625	0,222	0,202
Ragam (%)	35,685	34,651	12,331	11,191

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.	Drs. Setijanto, M.Sc.St	Ekologi Hewan	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
12.	Eckman Grab	2 unit