Yth. Dr. Dwi Nugroho W, MS

1

3

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN

Kampus UNSOED Grendeng Kotak Pos 15 Telp. 635292 Pes.139 Purwokerto 51122

SURAT KEPUTUSAN

Nomor : Kept. 174/H23/PL/2007

Tentang
Tugas dan Susunan Pelaksana Penelitian
Fundamental Lanjutan Tahun Anggaran 2007
Di Universitas Jenderal Soedirman

REKTOR UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN

MENIMBANG :
1. Bahwa agar pelaksanaan penelitian Fundamental Lanjutan di Universitas Jenderal Soedirman, tahun anggaran 2007 dapat berjalan dengan lancar dan berdayaguna serta berhasilguna, maka perlu mengangkat pelaksana penelitian yang terdiri dari Staf Edukatif
2. Bahwa untuk maksud tersebut pada butir (1) perlu ditetapkan dengan surat Keputusan Rektor.

MENGINGAT :
1. Undang-undang No. 20 tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional Bab. V pasal 16 ayat (7) dan pasal 22 ayat (2).
2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 60 tahun 1999 tentang Pendidikan Tinggi.
3. Surat Keputusan Presiden RI No. 195 tahun 1963 tentang pendirian Unsoed.
4. Keputusan Presiden No. 179/M Tahun 2005 tanggal 14 Oktober 2005 tentang Pengangkatan Rektor Universitas Jenderal Soedirman.
5. Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Nomor : 033/SP2H/PP/DP2M/III/2007 tanggal 29 Maret 2007.

MENDENGAR : Saran dan pertimbangan Pimpinan Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto.

MEMUTUSKAN

MENETAPKAN :

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

Kedua	:	Dalam melaksanakan tugasnya PENELITI bertanggungjawab kepada Rektor melalui Ketua Lembaga Penelitian dalam bentuk buku Laporan Hasil Penelitian.
Ketiga	:	Bagi Kepala Proyek Penelitian yang masih golongan III/d kebawah, pelaksanaan penelitiannya dibawah pengampuan Dekan Fakultas yang bersangkutan.
Keempat	:	Semua biaya yang timbul akibat dikeluarkannya Surat Keputusan ini dibebankan pada DIPA Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Depdiknas. : SP : 0145.0/023-04.0/-/2007 tanggal 31 Desember 2006.
Kelima	:	Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dengan ketentuan apabila dikemudian hari ternyata terdapat kekeliruan akan diadakan perbaikan sebagaimana mestinya

Ditetapkan di : PURWOKERTO
Pada tanggal : 19 Mei 2007

Rektor,

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN REKTOR

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

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

LAMPIRAN : Surat Keputusan Rektor Universitas Jenderal Soedirman
No. Kept. : 174/H23/PL/2007, tanggal 19-5-2007 tentang
tugas dan Susunan Pelaksana Penelitian **Fundamental Lanjutan**
Tahun Anggaran 2007.

NO.	PERSONALIA	GOL	TUGAS DALAM PENELITIAN	JUDUL PENELITIAN	BIAYA (Rp)
1	2	3	4	5	6
1	Dr. Dwi Nugroho Wibowo, MS Dra. Agatha Sih Piranti, M.Sc	IVa IIIc	Kepala Proyek Peneliti I	Studi Ekologi Makrofia Akuatik untuk Biomonitoring Status Trofik Ekosistem Waduk	28.000.000

REKTOR,

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
REKTOR

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

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
LEMBAGA PENELITIAN

Kampus UNSOED Grendeng II Telp. / Fax (0281) 625739 Purwokerto 53122

SURAT PERJANJIAN KERJA PELAKSANAAN PENELITIAN

Nomor : 2577/H23.6/PL/2007

Pada hari ini **Senin** tanggal **Lima Belas** bulan **Mei** tahun **Dua Ribu Tujuh** kami yang bertandatangan di bawah ini :

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

2. **Dr. Dwi Nugroho Wibowo, MS** : Dosen Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman dalam hal ini bertindak selaku Kepala Proyek Penelitian ***"Studi Ekologi Makrofia Akuatik untuk Biomonitoring Status Trofik Ekosistem Waduk"*** untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA.**

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

Pasal 1

1.1. **PIHAK KESATU** memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA** dan **PIHAK KEDUA** menerima untuk mengkoordinasi dan menyelesaikan pelaksanaan penelitian.

1.2. **PIHAK KEDUA** bertanggungjawab kepada **PIHAK KESATU** tentang tugas dan tanggungjawab penelitian kerjasama sesuai Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian dari Ditjen Dikti nomor: 033/SP2H/PP/DP2M/III/2007 tanggal 29 Maret 2007

Pasal 2

PIHAK KEDUA bersedia mematuhi Surat Keputusan Rektor UNSOED nomor : 056/J23/PP/2003 tentang Pedoman Pengelolaan Kerjasama Uiversitas Jenderal Soedirman tanggal 7 Maret 2003.

Pasal 3

Pengelolaan dana kerjasama melalui rekening Lembaga Penelitian nomor Rek. 1.003.01620-8 Bank Pembangunan Daerah Jawa Tengah Cabang Purwokerto, Jalan Gatot Subroto 101 Purwokerto.

Pasal 4

Pencairan dana dilaksanakan secara bertahap sebagai berikut :

4.1. Tahap pertama 70 persen sebesar Rp. 19.600.000,- (sembilan belas juta enam ratus ribu rupiah) setelah surat perjanjian ini ditandatangani oleh kedua belah pihak. Pada tanggal 30 Juli 2007 **PIHAK KEDUA** harus menyerahkan Laporan Kemajuan Pelaksanaan Penelitian, sesuai dengan format yang telah ditetapkan.

4.2. Tahap kedua 30 persen sebesar Rp 8.400.000,- (delapan juta empat ratus ribu rupiah) setelah **PIHAK KEDUA** menyerahkan laporan hasil penelitian kepada **PIHAK KESATU.**

Pasal 5

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

5.2. **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan laporan hasil penelitian sebanyak 9 eksemplar disertai dengan ringkasan (abstrak) dalam bahasa Indonesia sebanyak 2 sampai 3 halaman, dan artikel ilmiah yang terpisah dari laporan sebanyak 3 eksemplar kepada **PIHAK KESATU**, selambat-lambatnya 1 Nopember 2007.

5.3. Laporan hasil penelitian harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :
   a. Bentuk/ukuran kertas kuarto;
   b. Warna abu-abu;
   c. Pada bagian bawah sampul ditulis "Dibiayai Oleh Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan **Penelitian Fundamental Nomor : 033/SP2H/PP/DP2M/III/2007 tanggal 29 Maret 2007.**

Pasal 6

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

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

Pasal 7

Surat Perjanjian Kerja Pelaksanaan Penelitian ini dibuat rangkap dua.

Pasal 8

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

PIHAK KEDUA,

Dr. Dwi Nugroho Wibowo, MS

PIHAK KESATU,

Edy Yuwono, PhD
NIP. 131 569 004

LAPORAN HASIL PENELITIAN

STUDI EKOLOGI MAKROFITA AKUATIK UNTUK BIOMONITORING STATUS TROFIK EKOSISTEM WADUK

Oleh :

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

– – – – – – – – –

DIBIAYAI OLEH
PROYEK PENGKAJIAN DAN PENELITIAN ILMU PENGETAHUAN DAN PENELITIAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
SESUAI DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN FUNDAMENTAL
NO: 033/SP2H/PT/DP2M/III/2007 TANGGAL 29 MARET 2007

FAKULTAS BIOLOGI
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
TAHUN 2007

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

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

2. **Ketua Peneliti**

a. Nama Lengkap	: Dr. Dwi Nugroho Wibowo, MS
b. Jenis Kelamin	: Laki-laki
c. NIP	: 131 569 036
d. Pangkat/Golongan	: Pembina/IV-a
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 Penjalin, Kabupaten Brebes
5. Kerja Sama dengan Institusi Lain	: -
a. Nama Institusi	: -
b. Alamat	: -
6. Masa Penelitian	: 11 bulan
7. Biaya yang Diperlukan	: Rp 28.000.000,00 (Dua puluh delapan juta rupiah)

Purwokerto, 25 Oktober 2007

Mengetahui,
Dekan Fakultas Biologi Unsoed,

Dra. Purnomowati, SU
NIP. 130 936 607

Ketua Peneliti,

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

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Jenderal Soedirman,

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

RINGKASAN

STUDI EKOLOGI MAKROFITA AKUATIK UNTUK BIOMONITORING STATUS TROFIK EKOSISTEM WADUK

Penelitian tentang studi ekologi makrofita akuatik untuk biomonitoring status trofik ekosistem waduk telah dilakukan di waduk Penjalin, Paguyangan, Kabupaten Brebes. Variabel penelitian diambil dari sembilan stasiun pengamatan terpilih yang mewakili zona *inlet*, tengah, dan *outlet* waduk. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari keragaman makrofita akuatik di waduk Penjalin pada zona *inlet*, tengah, dan *outlet* waduk, baik pada musim kemarau maupun musim hujan sebagai upaya mendapatkan biota indikator status trofik ekosistem waduk. Analisis struktur komunitas makrofita akuatik dilakukan dengan mendeskripsikan data keragaman jenis makrofita. Kesamaan karakteristika makrofita akuatik antar zona waduk ditelaah berdasar dendogram kesamaan rata-rata. Variasi karakteristika variabel kualitas air dan makrofita akuatik antar stasiun dikaji dengan analisis multivariat yang didasarkan pada analisis komponen utama, sedangkan distribusi spasial makrofita akuatik dianalisis menggunakan analisis faktorial korespondensi. Berdasarkan variasi karakteristik variabel kualitas air, waduk Penjalin termasuk kedalam waduk eutrof. Keragaman makrofita akuatik di waduk Penjalin pada musim hujan menunjukkan keragaman yang rendah (4 jenis), yaitu *Hydrilla verticillata, Ipomoea aquatica, Ludwigia adscendens,* dan *Eichhornia crassipes*. Informasi tentang distribusi spasial berdasarkan pada keragaman makrofita akuatik dan informasi variasi temporal berdasarkan pada biomasa makrofita akuatik, baik pada musim kemarau maupun musim hujan tidak diperoleh. Hal ini disebabkan karena adanya serangan hama *Pomacea canaliculata.*

Kata kunci : makrofita akuatik, biomonitoring, status trofik

SUMMARY

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

An ecological study on aquatic macrophytes for biomonitoring trophic status of water reservoir ecosystem was conducted in Penjalin Water Reservoir, Paguyangan, Brebes Regency. Variables of study were taken from nine selected observation stations representing inlet, middle, and outlet zones both in wet season and dry season. The study was aimed to investigate the diversity of aquatic macrophytes in Penjalin Water Reservoir at the three zones in both season in order to obtain bioindicator for trophic status of water reservoir ecosystem. The analysis on community structure of aquatic macrophytes was carried out by describing data on the diversity of aquatic macrophytes species. The similarity of aquatic macrophyte characteristics among zones was analyzed on the basis of average similarity dendogram. The variation of water quality and aquatic macrophyte characteristics among stations was analyzed using multivariate analysis based on the analysis of main component, while spatial distribution of aquatic macrophytes was analyzed using correspondence factorial analysis. Based on the variation of characteristics of water quality, Penjalin Water Reservoir belongs to oligotrophic status. Low diversity of aquatic macrophytes in Penjalin Water Reservoir in wet season (4 species) was observed, i.e. *Hydrilla verticillata, Ipomoea aquatica, Ludwigia adscendens,* and *Eichhornia crassipes*. Information about spatial distribution based on the diversity of aquatic macrophytes species and temporal variation based on aquatic macrophyte biomass either in dry or wet season were not obtained. This was due to the existance of *Pomacea canaliculata* pest.

Keyword: aquatic macrophyte, biomonitoring, trophic status

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wataa'la., karena berkat rahmat dan petunjuk-Nya, laporan penelitian dengan judul "**Studi Ekologi Makrofita Akuatik untuk Biomonitoring Status Trofik Ekosistem Waduk"** tahun kedua yang diawali dengan penyusunan usulan penelitian, pelaksanaan penelitian, dan penulisan laporan penelitian ini dapat terselesaikan. Penelitian tahun kedua ini dilaksanakan di waduk Penjalin, Kabupaten Brebes 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 Tahun Kedua,
2. Ketua Lembaga Penelitian, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto dan jajaranya atas segala bantuannya sehingga kegiatan penelitian ini dapat terselesaikan,
3. Kepala Laboratorium Ekologi, Laboratorium Biologi Akuatik, dan Laboratorium Lingkungan Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman atas ijin peminjaman sarana prasarana laboratorium.

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, Oktober 2007

Tim Peneliti

DAFTAR ISI

Halaman

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

I. PENDAHULUAN …….. 1

1.1. Latar Belakang ……. 1

1.2. Identifikasi Masalah ……. 3

1.3. Kerangka Pemikiran ……. 5

II. TINJAUAN PUSTAKA ……. 9

2.1. Ekologi Makrofita Akuatik …….. 7

2.2. Makrofita Akuatik sebagai Bioindikator …….. 7

2.3. Fungsi Makrofita Akuatik dalam Ekosistem Waduk ……... 10

2.4. Ekosistem Waduk ……. 12

2.5. Hubungan antara Eutrofikasi dengan Makrofita Akuatik 14

2.6. Faktor Pembatas dalam Eutrofikasi …….. 17

III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN …… 18

3.1. Tujuan Penelitian …….....…….. 18

3.2. Manfaat Penelitian …….....…….. 18

IV. METODE PENELITIAN …….. 19

3.1. Tempat dan Waktu ……... 19

3.2. Bahan dan Alat ……. 19

3.3. Rancangan Penelitian ……... 20

3.4. Pengumpulan Data …… 21

3.5. Analisis Data …… 22

V. HASIL DAN PEMBAHASAN …….. 24
5.1. Morfometri Waduk Penjalin ..……..... 24
5.2. Ekologi Waduk Penjalin ..……..... 25
5.3. Hidromorfologi Waduk Penjalin…...……..... 26
5.4. Profil Kualitas Air …… 27
5.5. Sebaran Spasial Temporal Makrofita Akuatik Waduk Penjalin 44

VI. KESIMPULAN DAN SARAN …….. 47
6.1. Kesimpulan …….. 47
6.2. Saran …… 47

DAFTAR PUSTAKA ……... 48
LAMPIRAN ……. 53

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
4.1.	Variabel kualitas air yang diukur, metode analisis, dan peralatan yang digunakan (APHA, 1985) .....……	20
4.2.	Lokasi pengambilan sampel makrofita akuatik dan sampel air ...	21
5.1.	Profil nilai suhu air, transparansi, TSS waduk Penjalin selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) …….....	27
5.2.	Nilai DHL, pH, dan O_2 waduk Penjalin selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) .....……	31
5.3.	Kandungan COD dan BOD waduk Penjalin selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) …….…….....	33
5.4.	Kandungan N-total dan P-total waduk Penjalin selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) …….…….....	35
5.5.	Kandungan P-total dan PO_4 waduk Penjalin selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan) …….…….....	37
5.6.	Kandungan N-total, NH_3, dan NO_3, dan NO_2 Waduk Penjalin selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan)	41
5.7.	Kelimpahanzooplankton dan fitoplankton di Waduk Penjalin selama penelitian (musim hujan dan musim kemarau)	43
5.8.	Keragaman jenis makrofita akuatik waduk Penjalin selama penelitian (musim hujan dan musim kemarai) .....……	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

1. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data suhu air, Transparansi, dan TSS waduk Penjalin selama Penelitian 53

2. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data DHL, pH, dan O_2 selama penelitian …… 53

3. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data COD dan BOD selama penelitian ……..…….. 54

4. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data N total dan P total selama penelitian ……..... 54

5. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data P total dan PO_4 selama penelitian ..……..…… 55

6. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data N total, NH_3, dan NO_3 selama penelitian ...…….…….... 55

7. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data kelimpahan zooplankton dan fitoplankton selama penelitian …… 56

8. Personalia Peneliti ……..... 56

9. Sarana dan prasarana penunjang penelitian yang dimiliki ..…… 57

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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

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

Makrofita akuatik dikenal dengan istilah lain sebagai gulma air meliputi tanaman paku air, tanaman monokotil, dan angiosperma (Soerjani,1993). Berdasarkan hasil penelitian Oron (1990, dalam Indarto, 1992) diperoleh informasi bahwa makrofita akuatik adalah tanaman dengan kemampuan penyerapan tinggi terhadap amonia (NH_3), nitrat (NO_3), dan fosfat (PO_4^{3-}). Makrofita akuatik menyerap bahan terlarut, bahan tersuspensi, dan gas-gas terlarut dalam air.

Waduk Penjalin yang terletak di desa Winduaji, Kecamatan Paguyangan, Kabupaten Brebes merupakan waduk buatan, melipati areal seluas 125 ha, dengan kedalaman normal 17 m, volume air 9,5 juta m3 dengan panjang tanggul 850 m. Waduk itu terletak pada ketinggian 152 m di atas permuakaan air laut (dpl) pada 107º15’ LS dan 109º01’ BT yang menempati daerah topografi cekungan yang pada awalnya merupakan badan air alami. Sumber airnya berasal dari sungai Penjalin dan terutama berasal dari air hujan. Fungsi utama waduk Penjalin adalah untuk menambah debit air sungai Pemali pada musim kemarau, agar lahan-lahan pertanian di daerah Brebes dapat dialiri dengan baik. Selain itu, waduk itu dimanfaatkan untuk sarana transportasi, kegiatan perikanan, dan pariwisata. Dengan demikian, waduk Penjalin merupakan waduk serbaguna sebagaimana tujuan pembuatan waduk pada umumnya.

Aktivitas manusia dan kegiatan pertanian, permukiman, dan industri yang berada di sekitar daerah aliran sungai (DAS) 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 rawa.

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 wadukRawa Pening. Stratifikasi hara secara horisontal dan vertikal memungkikan perbedaan diversitas makrofita akuatik. Hal itu yang berdasarkan konsep lingkungan yang berbeda akan menghasilkan organisme yang berbeda (Odum, 1971).

1.2. Identifikasi Masalah

Sumber air Waduk Penjalin berasal dari air hujan dan aliran sungai Penjalin dan sungai-sungai kecil lainnya. Sungai-sungai itu melewati daerah pertanian, perkebunan, permukiman penduduk, dan pesawahan yang membawa limbah pertanian dan rumah tangga. Pemakaian pupuk buatan dan penggunaan sabun dan

deterjen merupakan sumber pemasukan hara yang menyebabkan meningkatnya kandungan N dan P (proses eutrofikasi).

Pemantauan kesuburan perairan waduk dapat dilakukan dengan mengetahui sifat fisika-kimia dan biologi. Salah satu sifat fisika-kimia yang berperan dalam tingkat kesuburan suatu perairan adalah kandungan unsur hara (N dan P). Salah satu faktor biologi yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kesuburan suatu perairan adalah diversitas (keanekaragaman) makrofita akuatiknya. Adanya stratifikasi unsur hara di waduk berpengaruh pada tingkat kesuburan (status trofik) waduk. Keberadaan makrofita akuatik berhubungan erat dengan kandungan hara. Dengan demikian, struktur komunitas makrofita akuatik berkorelasi dengan tingkat kesuburan suatu perairan.

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

peningkatan kekeruhan, peningkatan laju sedimentasi, dan perpendekan umur fungsi waduk (Mason, 1991). Informasi tentang makrofita akuatik berkaitan dengan eutrofikasi yang terjadi pada waduk-waduk di Indonesia masih sangat sedikit.

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

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

(2) bagaimanakah pola zonasi makrofita akuatik waduk Penjalin.

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, 1994). Proses eutrofikasi menyebabkan perairan mempunyai kepekatan hara yang tinggi dan kandungan oksigen terlarut yang rendah. Kondisi itu menyebabkan diversitas makrofita akuatik menjadi rendah, artinya pada kondisi itu hanya jenis-jenis tertentu saja yang berkembang (Aboal *et al*., 1996; Bertoli, 1996).

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

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

Waduk Penjalin dibangun untuk irigasi daerah pertanian di daerah Brebes, transportasi, pariwisata, dan perikanan darat dengan sistem karamba jaring apung. Sejak dibangun, pengelolaan dan pemanfaatan perairan waduk untuk keperluan tersebut belum didasarkan pada penelitian yang dapat memberikan referensi yang akurat mengenai kesuburan perairan dikaitkan dengan makrofita akuatiknya. Ismail dan Mohamad (1992) menyatakan bahwa tingkat kesuburan suatu perairan dapat dilihat dari kandungan unsur haranya. Unsur hara yang ada dalam perairan waduk dapat berupa bahan-bahan *autotochnous* (dari dalam) maupun *allotochnous* (dari luar) yang dibawa oleh aliran sungai yang masuk atau melalui proses degradasi pelarutan bahan-bahan tersebut dari sistem daratan di sekitar daerah aliran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ekologi Makrofita Akuatik

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

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

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

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

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

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

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

yang lainnya tidak menghalangi penyebaran jenis makrofita akuatik yang bersifat kosmopolit seperti *Potamogeton* sp., *Najas* sp., *Alisma* sp., *Sagittaria* sp., *Lemna* sp., *Ceratophyllum* sp., *Myriophyllum* sp., dan *Utricularia* sp.. Tumbuhan itu mempunyai toleransi yang tinggi terhadap variasi aspek fisika-kimia dan biologi.

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

2.2. Makrofita Akuatik sebagai Bioindikator

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

Makrofita akuatik dapat dijadikan bioindikator melalui distribusinya menurut waktu dan tempat untuk mendeteksi suatu perairan tercemar yang tidak mudah diukur parameter kimianya (Whitton, 1979). Pendugaan atau pemantauan

pencemaran dilakukan melalui perbedaan kepekaan terhadap senyawa kimia tertentu.

2.3. Fungsi Makrofita Akuatik dalam Ekosistem Waduk

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

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

Makrofita akuatik akan menstabilkan sedimen atau pinggiran waduk sehingga meningkatkan sistem drainase, menyediakan tempat berlindung, substrat, dan makanan bagi hewan-hewan invertebrata, tempat berlindung ikan, melindungi beberapa ikan saat bertelur, serta menyediakan makanan untuk ikan dan burung. Tumbuhan itu berperan penting dalam siklus hara dan penjernihan air. Beberapa jenis tumbuhan itu dapat digunakan sebagai bahan makanan dan obat-obatan serta tanaman hias.

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

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

Pengaruh langsung terhadap kualitas air merupakan aspek penting yang umumnya diabaikan. Pada kondisi perairan dengan kepadatan tanaman yang rapat, kandungan oksigen terlarut menurun, pH turun, kandungan CO_2 meningkat, dan suhu rendah (Soerjani, 1977). Hal itu mengakibatkan kemampuan alami badan air yang lebih rendah dalam menyerap bahan organik dan mengakibatkan terjadinya

pembusukan dan kondisi berbau sehingga kandungan CO_2 meningkat (Sastroutomo, 1986). Laju produksi bahan organik oleh makrofita akuatik yang tinggi berakibat adanya akumulasi bahan organik dalam badan air. Dekomposisi tanaman yang mati berlangsung secara lambat dan daun-daun masih tampak utuh untuk beberapa bulan.

2.4. Ekosistem Waduk

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

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

Pengertian waduk atau waduk serba guna adalah waduk atau waduk yang mempunyai fungsi sebagai (1) pengendali banjir, (2) pembangkit listrik, (3)

penyediaan air irigasi, (4) sarana pariwisata, dan (5) sarana produksi ikan. Dari kelima fungsi tersebut, tiga fungsi yang disebutkan pertama adalah fungsi pokok, sedangkan dua fungsi yang lain merupakan fungsi tambahan. Pariwisata dan perikanan merupakan fungsi tambahan karena belum ada usaha membangun waduk khusus untuk tujuan-tujuan tersebut. Meskipun tidak termasuk ke dalam fungsi pokok waduk atau waduk serba guna, kedua kegiatan itu merupakan kegiatan yang penting dan perlu dikembangkan di perairan waduk.

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

Musuh utama dari umur fungsi waduk adalah pendangkalan yang tidak dapat dicegah karena hal itu merupakan hukum alam (Odum, 1971). Yang dapat diusahakan adalah menghambat laju proses pendangkalan tersebut. Pendangkalan diakibatkan oleh kegiatan di DAS dan di kawasan waduk. Pengurangan lahan hutan, jenis tata guna lahan, dan intensifikasi pertanian dapat menimbulkan erosi

yang berakibat percepatan proses pendangkalan. Kegiatan perikanan dan pariwisata yang dilakukan secara tidak terarah di perairan waduk dapat pula mempercepat proses pendangkalan. Faktor alam yang dapat berperan dalam proses pendangkalan dibagi menjadi faktor fisika-kimia dan faktor biologi. Satu contoh faktor fisika adalah angin yang di perairan akan mengakibatkan adanya gelombang. Sibakan gelombang pada tepian waduk dapat melongsorkan pinggiran waduk. Faktor kimia antara lain adalah sifat kesadahan air. Kondisi kesadahan air yang tinggi akan mempercepat laju pengendapan koloid lumpur yang merupakan bahan utama pendangkalan (Soewignjo, 1980). Faktor biologi adalah makrofita akuatik yang secara langsung dan tidak langsung dapat mempercepat laju sedimentasi. Secara langsung adalah makrofita akuatik itu sendiri atau sisa-sisanya yang akan menggumpal atau terkumpul di dasar perairan. Secara tidak langsung adalah kemampuan makrofita akuatik untuk menahan gerakan arus air sehingga partikel lumpur yang terbawa air mendapat kesempatan untuk mengendap. Waduk adalah tempat untuk menampung air. Oleh sebab itu, waduk harus dalam kondisi kapasitas tampung yang maksimal. Artinya, waduk tidak mengandung terlalu banyak bahan nonair. Untuk kelestarian waduk, persyaratan kebersihan perairan hendaknya dijadikan pedoman pokok dalam pengelolaan waduk.

2.5. Hubungan antara Eutrofikasi dengan Makrofita Akuatik

Proses eutrofikasi menyebabkan naiknya kandungan klorofil a dalam badan air (Sahlan, 1985). Organisme renik yang mengandung klorofil a adalah bakteri dan alga biru-hijau. Makrofita akuatik adalah paku air, spermatofita,

ganggang, dan berbagai jenis tumbuhan monokotil yang tumbuh dalam air. Proses eutrofikasi yang mempunyai faktor pembatas hara N dan P menyebabkan perbandingan kedua hara tersebut atau rasio N/P menentukan komposisi jenis makrofita dalam badan air.

Pada N/P rendah, yang hidup adalah organisme yang mempunyai kemampuan mengikat seperti alga biru-hijau yang menyebabkan jenis fitoplankton tersebut menjadi dominan. Pada kondisi suhu yang tinggi atau di daerah dengan empat musim, suhu yang tinggi di musim panas menimbulkan kompetisi di antara organisme-organisme tadi sehingga organisme yang membutuhkan sinar yang sedikit atau dapat secara efektif berfotosintesis pada keadaan ternaungi merupakan organisme yang dominan.

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

Kondisi perairan yang terbuka, artinya *flux* sinar matahari dapat berlangsung penuh, kaya hara dan tidak ada efek dinamika seperti ombak dan gelombang, merupakan habitat makrofita akuatik (Soewignjo, 1980). Dengan

demikian, kondisi kaya hara dan detritus dan *flux* cahaya yang penuh adalah persyaratan tumbuh makrofita akuatik. Oleh sebab itu, dalam ekosistem perairan mengalir seperti sungai dan selokan, kondisi kaya unsur hara tidak menyebabkan tumbuh dan berkembangnya makrofita akuatik mengapung, melainkan akan menyebabkan tumbuh dan berkembang alga filamen yang merupakan makrofita akuatik tenggelam.

Dari akumulasi hara dan kondisi lingkungan perairan akan terjadi kompetisi atau persaingan antara makrofita akuatik dengan fitoplakton. Mekanisme sederhana persaingan tersebut adalah bahwa bertambahnya hara menyebabkan populasi plankton bertambah dan menyebabkan turunnya intensitas cahaya matahari dalam badan air yang kemudian adanya naungan dari fitoplankton menyebabkan makrofita akuatik yang ada di substrat berkembang walaupun naungan bukan salah satu faktor pembatas.

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

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

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

2.6. Faktor Pembatas dalam Eutrofikasi

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

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

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

III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

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

Tujuan khusus penelitian adalah :

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

(2) mempelajari pola zonasi makrofita akuatik waduk Penjalin.

3.2. Manfaat Penelitian

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

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

IV. METODE PENELITIAN

4.1. Tempat dan Waktu

Penelitian mengenai studi ekologi makrofita akuatik untuk biomonitoring status trofik waduk yang dilaksanakan di waduk Penjalin, Desa Winduaji, Kecamatan Paguyangan, Kabupaten Brebes dilaksanakan pada musim hujan dan musim kemarau tahun 2007. Pengambilan sampel makrofita akuatik dilaksanakan di daerah eufotik waduk. Identifikasi jenis, pengukuran biomassa makrofita akuatik, dan pengukuran parameter kimia air (Tabel 4.1) dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Laboratorium Ekologi Fakultas Biologi UNSOED. Pengukuran pH, suhu air, Daya Hantar Listrik (DHL), kandungan O_2, dan transparansi dilakukan secara *in situ* di waduk Penjalin.

4.3. Bahan dan Alat

Untuk penentuan parameter fisika-kimia air yang ditentukan melalui sampel air digunakan bahan kimia. Sampel makrofita yang menjadi objek penelitian diambil dari waduk Penjalin, Desa Winduaji, Kecamatan Paguyangan, Kabupaten Brebes dengan keragaman tertentu.

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

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

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

4.4. Rancangan Penelitian

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

(Steel dan Torrie, 1985). Pengambilan data dilakukan sekali sebulan dalam tiga bulan berurutan. Data yang dikumpulkan adalah data-data variabel fisika-kimia air, plankton, serta keragaman dan biomassa makrofita akuatik.

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

No.	Zone	Stasiun	Lokasi
1.	*Inlet*	I	Daerah muara sungai Penjalin
2.		II	Daerah muara sungai Soka
3.		III	Daerah muara sungai Garung
4.	Tengah	IV	Daerah Kedung Wungu
5.		V	Daerah Blandong Cekung
6.		VI	Daerah Dermaga
7.	*Outlet*	VII	Daerah Blandong Ujung
8.		VIII	Daerah Menara
9.		IX	Daerah Limpasan

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.

4.5. Pengumpulan Data

Pengambilan sampel makrofita akuatik dan sampel air dilakukan di daerah eufotik. Penentuan kedalaman daerah eufotik dilakukan dengan metode keping Secchi. Di daerah eufotik untuk masing-masing stasiun pengamatan dibuat kuadrat dengan ukuran (1 x 1) m^2. Dari kuadrat itu diambil makrofita akuatik mengapung dan makrofita akuatik tenggelam. Makrofita diambil dari air dan

dimasukkan dalam kantung plastik untuk kemudian dilakukan identifikasi jenis dan penimbangan biomasa (bobot kering, kg/m^2). Bersamaan dengan pengambilan makrofita akuatik dilakukan pengambilan sampel air. Keragaman makrofita akuatik dinyatakan dalam jumlah jenis yang ditentukan pada tingkat jenis.

4.6. Analisis Data

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

Keragaman makrofita akuatik diperlukan untuk menerangkan keberadaan jumlah individu yang tidak sama antar jenis dalam suatu komunitas. Keragaman tersebut ditentukan dengan menghitung jumlah jenis dan kelimpahannya per satuan luas atau volume (Harper, 1992; Odum, 1994; dan Krebs, 1989).

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Morfometri Waduk Penjalin.

Waduk Penjalin merupakan waduk buatan yang menempati daerah topografi cekungan yang pada awalnya merupakan badan air alami dengan sumber air yang berasal dari sungai Penjalin dan terutama berasal dari air hujan. Waduk itu terletak di desa Winduaji, Kecamatan Paguyangan, Kabupaten Brebes yamg berbatasan dengan wilayah Kabupatem Banyumas. Fungsi utama waduk Penjalin adalah penyimpan air untuk irigasi daerah pertanian di Brebes, perikanan, sarana transportasi, dan obyek pariwisata. Dengan demikian, Waduk Penjalin merupakan waduk serbaguna sebagaimana tujuan pembuatan waduk pada umumnya. Pada musim hujan, luas permukaan waduk adalah 125 Ha dengan kapasitas maksimal 9,5 juta m^3 pada ketinggian 125 m diatas permukaan laut dengan kedalaman normal 17 m. Selama musim kemarau, luas area permukaan turun pada kedalaman 12 m. Perbedaan antara tinggi maksimal dan tinggi minimal menyebabkan waduk Penjalin mempunyai daerah pasang surut yang merupakan habitat makrofita akuatik muncul dan makrofita akuatik tenggelam.

Sumber air waduk Penjalin tidak berasal dari sungai Penjalin, tetapi juga berasal dari sungai-sungai kecil dan terutam berasal dari air hujan.

Permasalahan yang dihadapai waduk Penjalin adalah masalah degradasi lingkungan yang sudah berlangsung cukup lama. Degradasi lingkungan itu terjadi sebagai akibat adanya proses pendangkalan dasar waduk oleh sedimen yang berasal

sampah/limbah permukiman, dan erosi tanah dari lahan pertanian, permukiman, dan luar sungai (Prihartanto, 2005).

5.2. Ekologi Waduk Penjalin

Berdasarkan fungsinya, waduk Penjalin 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 atau waduk khusus untuk tujuan-tujuan tersebut. Kedua kegiatan tersebut tidak termasuk dalam fungsi pokok waduk atau 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.

Pendangkalan waduk Penjalin diakibatkan oleh berbagai kegiatan, baik di luar maupun di kawasan waduk. Konservasi tanah yang tidak optimal dan penggundulan hutan adalah kegiatan yang berada di luar kawasan waduk yang dapat menimbulkan

erosi yang berakibat pada percepatan proses pendangkalan. Kegiatan perikanan dan wisata air yang dilakukan secara tidak terarah di perairan waduk dapat pula mempercepat proses pendangkalan waduk.

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

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

5.3. Hidromorfologi Waduk Penjalin

Lingkungan waduk Penjalin sangat dipengaruhi oleh curah hujan di sungai Penjalin dan sungai-sungai kecil disekitas waduk 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.

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 Penjalin 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.

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

Zone Waduk	T-air (^oC)		Transparansi (cm)		TSS (mgL^{-1})	
	MH	MK	MH	MK	MH	MK
Inlet	24,0a A	25,0a A	103,3e E	84,7e F	58,33i I	18.67i I
Tengah	25,8b A	25,0a A	103,3e E	79,5e F	43,33i I	18,00i I
Outlet	28,5c A	25,3a A	114,8e E	86,7e F	44,00i I	18,67i I

Berdasarkan sidik ragam, data T-air dan TSS tak beragam, sedangkan efek musim terhadap transparansi 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.

Suhu air di waduk Penjalin, pada musim hujan maupun musim kemarau tampak tidak berbeda (Tabel 5.1). Pada musim hujan, suhu air berkisar antara 24,0 ^{o}C sampai 28,5 ^{o}C, sedangkan pada musim kemarau berkisar antara 25,0 ^{o}C sampai 25,0 ^{o}C.

Suhu air merupakan faktor energi panas yang mempengaruhi secara langsung kehidupan organisme air. Kisaran suhu air di waduk Penjalin 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 hujan dan musim kemarau (Lampiran 1). Data transparansi pada musim hujan dan musim kemarau dapat dilihat pada Tabel 5.1. Pada musim hujan, transparansi air berkisar antara 103,3 cm sampai 114,8 cm, sedangkan pada musim kemarau berkisar antara 79,5 cm sampai 86,7 cm. Berdasarkan data transparansi tersebut, secara umum waduk Penjalin diindikasikan mengalami fase eutrof. Namun demikian, parameter transparansi ini hanya merupakan parameter pengindikasi. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Prihantanto (2005).

Transparansi air pada musim hujan lebih tinggi dibandingkan pada musim kemarau (Lampiran 1 dan Tabel 5.1). Pada musim kemarau, masukan air di bagian *inlet* cukup banyak dan berasal dari air hujan yang cukup bersih. Pada musim kemarau, terjadi penurunan muka air waduk dan areal tersebut dimanfaatkan untuk

pertanian. Dari tabel tersebut terlihat adanya kecenderungan makin meningkatnya transparansi dari zone *inlet* ke zone tengah 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.

Kandungan TSS selama penelitian disajikan pada Tabel 5.1. Pada musim kemarau dan musim hujan kandungan TSS di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.1 dan Lampiran 1). Pada musim kemarau, kandungan TSS berkisar antara 18,00 mgL^{-1} sampai 18,67 mgL^{-1}, sedangkan pada musim hujan berkisar antara 43,33 mgL^{-1} sampai 58,33 mgL^{-1}.

Kandungan TSS selama penelitian menunjukkan adanya sedikit perbedaan antar musim (Lampiran 1). Sedikit lebih tingginya kandungan TSS pada musim hujan sebagai akibat lebih tingginya erosi yang terjadi di bagian *inlet* DAS yang masuk ke badan waduk Penjalin. Selain itu, areal di sekitas waduk merupakan daerah pertanian tanaman semusim yang memungkinkan terjadinya erosi yang lebih besar. Kandungan TSS dipengaruhi oleh adanya zat-zat terlarut dan tersuspensi seperti bahan organik, mikroorganisme dan partikel, lempung, tanah liat, dan lumpur (Alaerts dan Santika, 1987 dan Mahida, 1989). 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 areal pinggir waduk di sekitar *inlet* dan tengah waduk Penjalin.

5.4.2. DHL, pH, dan O_2 terlarut

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

Pada musim kemarau dan musim hujan nilai DHL di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.2 dan Lampiran 2). Pada musim kemarau, nilai DHL berkisar antara 120,00 sampai 118,33, sedangkan pada musim hujan berkisar antara133,33 sampai 135,00. Pada musim kemarau nilai DHL cenderung lebih tinggi dengan kisaran yang lebar dibanding pada musim hujan. Hal ini menginformasikan pada musim kemarau 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, dan rumah tangga.

Pengamatan pH air Penjalin pada musim kemarau dan musim hujan di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.2 dan Lampiran 2). Pada musim hujan, pH air berkisar antara 6,44 sampai 6,87, sedangkan pada musim kemarau berkisar antara 6,60 sampai 6,99.

Air yang bersifat asam ke netral cenderung lebih produktif dibandingkan dengan air yang bersifat basa. Kisaran pH perairan Penjalin 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, O_2, dan CO_2 Waduk Penjalin selama penelitian (musim hujan dan musim kemarau).

Zone Waduk	DHL		pH		O_2 (mgL^{-1})	
	MH	MK	MH	MK	MH	MK
Inlet	133,33a B	116,67a A	6,44e E	6,85e E	9,50i I	9,55i I
Tengah	135,00a B	118,33a A	6,57e E	6,60e E	9,58i I	9,58i I
Outlet	135,00a B	120,00a A	6,87e E	6,99e E	9,10i I	9,38i I

Berdasarkan sidik ragam, efek musin terhadap data DHL teruji bermakna, sedangkan data pH, dan O_2 tak beragam (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 Penjalin tidak berbeda antara musim kemarau dan musim hujan (Lampiran 2). Kandungan O_2 terlarut air Penjalin pada musim kemarau dan musim hujan di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.2). Pada musim hujan, kandungan O_2 berkisar antara 9,10 mgL^{-1} sampai 9,58 mgL^{-1}, sedangkan pada musim kemarau berkisar antara 9,38 mgL^{-1} sampai 9,58 mgL^{-1}. Kandungan O_2 terlarut pada musim kemarau tampak lebih tinggi dibandingkan pada musim hujan. 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 Penjalin

Sumber nitrat dan fosfat autogenik waduk Penjalin berasal dari mineralisasi bahan organik dan kegiatan antrophogenik 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 di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.3 dan Lampiran 3). Pada musim hujan, kandungan COD lebih rendah di zone *inlet*, sedangkan pada musim kemarau di zona tengah. Pada musim kemarau, kandungan COD berkisar antara 29,93 mgL^{-1} sampai 33,99 mgL^{-1}, sedangkan pada musim hujan berkisar antara 15,91 mgL^{-1} sampai 27,46 mgL^{-1}.

Nilai COD pada musim hujan cenderung lebih tinggi dibandingkan pada musim kemarau. Hal ini membuktikan adanya kandungan bahan anorganik lebih rendah dibandingkan dengan kandungan bahan organik dalam badan air waduk.

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

Zone Waduk	COD (mgL^{-1})		BOD (mgL^{-1})	
	MH	MK	MH	MK
Inlet	12,00a A	18,00c B	3,12e E	2,55e E
Tengah	12,00a B	7,33a A	3,45e E	2,73e E
Outlet	16,67b B	12,00b A	5,57e E	3,21e E

Berdasarkan sidik ragam, efek interaksi terhadap COD teruji bermakna (Lampiran 3), sedangkan efek musim terhadap BOD tak beragam.

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.

Secara umum, nilai BOD air waduk Penjalin menunjukkan tidak ada perbedaan antar musim dan tidak ada perbedaan antar zone waduk (Lampiran 3). Kandungan BOD air waduk Penjalin pada musim kemarau dan musim hujan di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.3 dan Lampiran 3). Pada musim kemarau, nilai BOD berkisar antara 2,55 mgL^{-1} sampai 3,21 mgL^{-1}, sedangkan pada musim hujan berkisar antara 3,12 mgL^{-1} sampai 5,57 mgL^{-1}. Namun demikian, zone *outlet* waduk cenderung mempunyai nilai BOD lebih tinggi dibandingkan dengan zone *inlet* dan

tengah. 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 Penjalin

Bahan organik di daerah eufotik waduk Penjalin 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 Penjalin disajikan pada Tabel 5.4 dan Lampiran 4.

Tidak terdapat perbedaan kandungan N-total antara musim kemarau dan musim hujan (Lampiran 4). Kandungan N-total air waduk Penjalin pada musim kemarau dan musim hujan di ketiga zone waduk juga tidak berbeda (Tabel 5.4). Pada musim kemarau, kandungan N-total berkisar antara 0,6621 mgL^{-1} sampai 1,1197 mgL^{-1}, sedangkan pada musim hujan berkisar antara 0,9133 mgL^{-1} sampai 0,9967 mgL^{-1}.

Kandungan P-total air waduk Penjalin pada musim hujan dan musim kemarau di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.4). Pada musim hujan, kandungan P-total

berkisar antara 0,0653 mgL^{-1} sampai 0,4918 mgL^{-1}, sedangkan pada musim kemarau berkisar antara 0,0299 mgL^{-1} sampai 0,0380 mgL^{-1}.

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

Zone Waduk	N-total (mgL^{-1})		P-total (mgL^{-1})	
	MH	MK	MH	MK
Inlet	0,9967a A	0,9446a A	0,4918a A	0,0343a A
Tengah	0,9400a A	0,6621a A	0,0653a A	0,0380a A
Outlet	0,9133a A	1,1197a A	0,1064a A	0,0299a A

Berdasarkan sidik ragam, data N-total dan P-total tak beragam (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 Penjalin tergolong pada perairan dengan status oligotrof (Likens, 1975 dan Jorgensen, 1980). Sumber utama N dan P air waduk Penjalin berasal dari tanah yang mengalami erosi, pupuk dan zat kimia pertanian yang tercuci, sampah organik, limbah rumah tangga, dan sisa pakan kegiatan karamba jaring apung. Menurut Tohir (1985), perairan yang banyak kandungan N dan P akan mengalami eutrofikasi. Artinya, perairan mengalami penyuburan yang berlebihan sehingga pertumbuhan makrofita akuatik dan plankton terpacu. Soerjani dan Widyanto (1977) menyatakan, hasil buangan yang masuk ke

dalam suatu perairan dapat memacu pertumbuhan masal (*blooming*) makrofita akuatik.

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 Penjalin 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.

Kandungan PO_4 pada musim kemarau dan hujan di ketiga zone waduk menunjukkan adanya perbedaan (Tabel 5.5). Pada pengamatan musin hujan, kandungan PO_4 pada berkisar antara 0,0204 mgL^{-1} sampai 0,0254 mgL^{-1} dan pada musim kemarau berkisar antara 0,0558 mgL^{-1} sampai 0,0663 mgL^{-1}.

Adanya kandungan ortofosfat yang cukup tinggi di waduk Penjalin, menginformasikan bahwa kegiatan antropogenik berpengaruh terhadap kualitas air. Dilihat dari kandungan BOD yang antara 3,6711 mgL^{-1} sampai 5,4500 mgL^{-1} pada musim hujan dan antara 10,4577 mgL^{-1} sampai 12,4688 mgL^{-1} pada musim kemarau, 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.

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

Zone Waduk	P-total (mgL^{-1})		PO_4 (mgL^{-1})	
	MH	MK	MH	MK
Inlet	0,4918a A	0,0343a A	0,0194a A	0,0160a A
Tengah	0,0653a A	0,0380a A	0,0212a A	0,0075a A
Outlet	0,1064a A	0,0299a A	0,0205a A	0,0094a A

Berdasarkan sidik ragam, data P-total dan PO_4 tak beragam (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.

Pada umumnya, masyarakat di DAS dan subDAS di sekitar waduk Penjalin belum mengelola limbah sabun, dan lebih suka membuangnya ke badan air. Selain itu, sebagian masyarakat melakukan aktivitas mandi dan cuci di waduk. 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 Penjalin juga berasal dari kegiatan budi daya karamba dan aktivitas pemancingan ikan. Penggunaan pakan buatan akan menghasilkan sisa yang merupakan sumber ortofosfat.

Kandungan ortofosfat di waduk Penjalin masih tergolong kecil. 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 penjalin menunjukkan adanya tidak adanya perbedaan antara musim kemarau dan musim hujan (Tabel 5.7). Namun demikian, kandungan ortofosfat pada musim hujan cenderung sedikit lebih tinggi dibandingkan pada musim kemarau. Pada musim hujan kandungan ortofosfat berkisar 0,0194 mgL^{-1} sampai 0,0212 mgL^{-1} dan musim kemarau berkisar 0,0075 mgL^{-1} sampai 0,0160 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 *inlet* DAS dan disekitar (pinggir) waduk yang masuk ke badan waduk adalah sumber utama kandungan unsur hara P di waduk Penjalin. Wetzel (1983) menyatakan bahwa kandungan ortofosfat di perairan dipengaruhi oleh tataguna lahan, geologi, morfologi badan air, dan aktivitas manusia.

Kandungan ortofosfat yang tinggi pada daerah afotik dapat juga disebabkan adanya proses pengendapan secara kimia. Sifat ion fosfat yang mudah berikatan secara ikatan ion dengan kation Al^{3+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}, dan Ca^{2+} membentuk partikel yang

berukuran lebih besar. Karena ukurannya membesar, cenderung akan mengendap. Pendapat Cole (1994) dan Bitton (1994), ortofosfat mudah mengendap, dan hal ini menyebabkan menurun kadarnya di daerah eufotik.

Pendapat Pescod (1973), pH air sangat menentukan kuat atau lemahnya ikatan kimia senyawa fosfat. Pada pH yang asam, anion PO_4^{3-} berikatan dengan kation Fe^{2+} dan Al^{3+}, sedangkan pada pH yang alkalis akan berikatan dengan kation Na^{+}, dan pada perairan yang netral akan berikatan dengan kation Ca^{2+}. Secara umum waduk Penjalin mempunyai pH air netral. 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 dan fitoplankton. 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 Penjalin

Selain unsur hara fosfor, faktor pembatas dalam proses eutrofikasi ada;ah unsur hara nitrogen dalam bentuk senyawa NH_4^+, NO_3^-, dan NO_2^-. Sumber senyawa N terbesar waduk waduk Penjalin 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 yangmasih baru, sedangkan NO_3^- dan NO_2^- merupakan indikator pencemaran yang telah berlangsung lama.

Kandungan berbagai bentuk unsur hara N waduk Penjalin disajikan pada Tabel 5.6. Pada tabel tersebut dan Lampiran 6 terlihat adanya variasi kandungan NO_2 dan NO_3 antara musim hujan dan musim kemarau, sedangkan kandungan NH_3 dan N-total tampak tidak ada variasi. Data kandungan NH_3 dan N-total menunjukkan tidak adanya variasi, baik antara musim hujan dan musim kemarau maupun antara zonanya.

Dari hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa proporsi nitrogen sebagian besar berbentuk nitrat dibandingkan dengan ammonia dan nitrit. Hal itu sejalan dengan tersedianya oksigen yang diperlukan dalam proses penguraian bahan dari ammonia menjadi nitrat.

Kandungan NH_3 pada musim hujan berkisar antara 0,1422 (mgL^{-1}) sampai 0,1801 (mgL^{-1}) dan pada musim kemarau berkisar antara 0,2043 (mgL^{-1}) sampai 0,2619 (mgL^{-1}). Kandungan NO_3 pada musim hujan berkisar antara 0,1670 (mgL^{-1}) sampai 0,2732 (mgL^{-1}) dan pada musim kemarau berkisar antara 0,4292 (mgL^{-1})

sampai 0,7149 (mgL^{-1}). Kandungan NO_2 pada musim hujan berkisar antara 0,0083 (mgL^{-1}) sampai 0,0091 (mgL^{-1}) dan pada musim kemarau berkisar antara 0,0145 (mgL^{-1}) sampai 0,0167 (mgL^{-1}).

Tabel 5.6 Kandungan N-total, NH_3, NO_3, dan NO_2 waduk Penjalin selama penelitian (musim hujan dan musim kemarau).

Zone Waduk	N-total (mgL^{-1})		NH_3 (mgL^{-1})		NO_3 (mgL^{-1})		NO_2 (mgL^{-1})	
	MH	MK	MH	MK	MH	MK	MH	MK
Inlet	0,9967a A	0,9446a A	0,1589e E	0,2619e E	0,2732i I	0,7149i J	0,0091m M	0.0163m N
Tengah	0,9400a A	0,6621a A	0,1801e E	0,2043e E	0,1970i I	0,5094i J	0,0085m M	0,0150m M
Outlet	0,9133a A	1,1197a A	0,1422e E	0,2506e E	0,2210i I	0,4292i I	0,0083m M	0,0145m M

Berdasarkan sidik ragam, efek musim terhadap NO_3 dan NO_2 teruji bermakna, sedangkan sedangkan efek zone waduk terhadap N-total, NH_3, NO_3, dan NO_2 tak beragam (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.

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 Penjalin, 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.

5.4.6. Kelimpahan Plankton

Kelimpahan zooplankton di waduk Penjalin pada musim hujan dan musim kemarau di ketiga zone waduk tak berbeda (Tabel 5.7). Pada musim hujan, kelimpahan zooplankton berkisar antara 140,00 indL $^{-1}$ sampai 142,67 indL^{-1}, sedangkan pada musim kemarau berkisar antara 118,00 indL^{-1} sampai 198,67 indL^{-1}.

Kelimpahan fitoplankton pada musim kemarau dan hujan menunjukkan adanya perbedaan. Namun demikian, kelimpahan tersebut tidak menunjukkan adanya perbedaan di ketiga zone waduk baik pada masing-masing musim (Tabel 5.7 dan Lampiran 7). Pada pengamatan musin hujan, kelimpahan fitoplankton pada waduk Penjalin berkisar antara 1.597,00 indL^{-1} sampai 2.073,00 indL^{-1} dan pada musim kemarau berkisar antara 3.450,00 indL^{-1} sampai 3.765,00 mgL^{-1}.

Dari akumulasi hara dan kondisi lingkungan perairan akan terjadi kompetisi atau persaingan antara makrofita akuatik dengan fitoplakton. Mekanisme sederhana persaingan tersebut adalah bahwa bertambahnya hara menyebabkan populasi plankton bertambah dan menyebabkan turunnya intensitas cahaya matahari dalam badan air yang kemudian adanya naungan dari fitoplankton menyebabkan makrofita akuatik yang ada di substrat berkembang walaupun naungan bukan salah satu faktor pembatas (Wibowo, 2003).

Tabel 5.7. Kelimpahan zooplankton dan fitoplankton di Waduk Penjalin selama penelitian (musim hujan dan musim kemarau).

Zone waduk	Zooplankton ($indL^{-1}$)		Fitoplankton ($indL^{-1}$)	
	MH	MK	MH	MK
Inlet	142,67a A	139,67a A	1955,00a A	3512,33a B
Tengah	142,67a A	118,00a A	1597,00a A	3450,00a B
Outlet	140,00a A	198,67a A	2073,00a A	3765,00a B

Berdasarkan sidik ragam, data zooplankton tak beragam, sedangkan efek musim terhadap fitoplankton teruji bermakna (Lampiran 7).

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.

Dari Tabel 5.7 tampak bahwa kelimpahan zooplankton dan fitoplankton terbesar dijumpai pada zone *outlet* waduk Penjalin. Plankton akan tumbuh pada perairan terbuka dan relatif dalam. Fitoplankton mampu berkembang dengan baik pada zone *inlet*, tengah, dan *outlet* karena zone ini merupakan daerah terbuka dengan ketersediaan cahaya matahari cukup. Kelimpahan zooplankton di waduk Penjalin didukung oleh ketersediaan fitoplankton yang melimpah. Kelimpahan fitoplankton yang dijumpai di waduk Penjalin relatif lebih sedikit dibanding kelimpahan fitoplankton Sungai Galeh dan Sungai Panjang, subDAS Rawa Pening, serta Rawa Pening (Sudiana, 2006 dan Wibowo, 2006).

Komposisi jenis fitoplankton yang dijumpai di waduk Penjalin termasuk dalam kelompok *Cyanophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Pyrrophyta,* dan *Euglenophyta*, sedangkan jenis zooplankton yang diketemukan adalah *Nauplius* sp., *Brachionus* sp., *Heliospora* sp., *Euchlanis* sp., *Bursaria* sp.,dan *Cyclops* sp.

5.5. Sebaran Spasial Temporal Makrofita Akuatik Waduk Penjalin

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

Tujuan pengukuran kekayaan jenis suatu komunitas adalah untuk menyatakan karakteristik lain dari komunitas seperti produktivitas, stabilitas, atau kondisi lingkungan yang mengontrol. Yang dilakukan pada penelitian ini adalah mencari hubungan antara tingkat eutrofikasi (status trofik) waduk Penjalin dengan keragaman jenis makrofita akuatik. Pengukuran keragaman jenis suatu komunitas harus memperhatikan area, waktu, dan jenis tumbuhan. Secara sederhana keragaman jenis dapat diukur dengan menghitung jumlah jenis, biomasa, dan kelimpahan relatif (Krebs, 1972; Poole, 1974; dan Pielo, 1975). Untuk tumbuhan yang berkembang biak

secara vegetatif dan ukuran individunya sangat bervariasi, lebih cocok dihitung jumlah individu atau ditimbang bobot kering (biomasa).

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

Keragaman jenis makrofita akuatik waduk Penjalin selama masa penelitian tersaji pada Tabel 5.7. Pada tabel tersebut terlihat bahwa makrofita akuatik hanya dijumpai pada musim hujan. Hal ini terjadi, karena adanya serangan hama keong emas (*Pomacea canaliculata*) yang memakan makrofita akuatik yang ada di waduk Penjalin.

Data jenis makrofita akuatik waduk Penjalin hanya ditemukan di pengambilan data bulan pertama musim hujan. Pada bulan-bulan berikutnya, tidak lagi dijumpai makrofita akuatik, karena telah habis dimakan *P. Canaliculata*. Dengan demikian. kondisi struktur komunitas makrofita akuatik yang diketemukan tidak dapat

mengambarkan hubungan antara jenis makrofita akuatik dengan status trofik ekosistem waduk Penjalin.

Tabel. 5.8. Keragaman jenis makrofita akuatik waduk Penjalin selama penelitian (musim kemarau dan musim hujan)

No.	Nama jenis	Musim hujan	Musim kemarau
1.	*Hydrilla verticillata*	+	-
2.	*Ipomoea aquatica*	+	-
3.	*Ludwigia adscendens*	+	-
4.	*Eichhornia crassipes*	+	-

Keterangan : + : ada
- : tidak ada

Suatu komunitas dengan jumlah jenis dan kerapatan populasi yang sama dapat dikatakan lebih beraneka dari pada komunitas lain yang mempunyai jumlah jenis yang sama, tetapi dengan kerapatan populasi yang berbeda, yaitu beberapa jenis merupakan jenis-jenis yang umum dijumpai (kelimpahan merata), sedangkan beberapa jenis lain merupakan jenis yang jarang dijumpai (kelimpahannya kecil).

Waduk Penjalin mempunyai keragaman jenis (*richness*) yang rendah (Kuswanto, 1999).

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

(1) Waduk Penjalin mempunyai diversitas makrofita akuatik yang rendah (4 jenis), yaitu *Hydrilla verticillata*, *Ipomoea aquatica*, *Ludwigia adscendens*, dan *Eichhornia crassipes*.

(2) Penyebaran keragaman makrofita akuatik waduk Penjalin pada musim kemarau dan musim hujan tidak dapat digambarkan, karena adanya serangan hama *Pomacea canaliculata.*

(3) Variasi temporal biomasa makrofita akuatik waduk Penjalin antar zone waduk dan pola penyebarannya pada musim kemarau dan hujan tidak dapat digambarkan, karena adanya serangan hama *Pomacea canaliculata.*

6.2. Saran

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

(2) Diperlukan pengulangan penelitian ini pada waduk mesotrof lain untuk melengkapi data-data penelitian yang telah penulis lakukan pada waduk eutrof.

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.**

Adi, S. 2006. *Peranan Sungai terhadap Degradasi Lingkungan Waduk Rawa Pening.* **Alami 11 (1) : 61 – 67.**

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.

Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Jawa Tengah. 2003. *Penelitian Karakteristik Rowopening*. Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Jawa Tengah, Semarang.

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.**

Bitton, M.D. 1994. *Growth of Myriophillum : Sediment or Lake Waters as the Source of Nitrogen and Phosphorus.* **Ecology 59 : 1075 – 80.**

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.**

Gibson, C.E., Y. Wu, and D. Pinkerton. 1995. *Substance Budgets of an Upland Catchment : The Significance of Atmospheric Phosphorus Inputs*. **Freshwater Biology 33 : 385 - 392.**

Goldman, E.R., and H.J. Horne . 1983. *Limnology*. International Student Edition. McGraw-Hill Book Co., New York.

Gopal, B., and K.P. Sharma. 1981. *Water-Hyacinth (*Eichhornia crasipes*). The Most Troublesome Weeds of the World.* Hindasia Publ., New Delhi.

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

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

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

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

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

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

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

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

Krebs, C.J. 1989. *Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance.* Harper and Raw Publ., New York.

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

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

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

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.

Pescod, G. 1973. *Phosphorus in Freshwater Ecosystem*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Holland.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sudiana, N. 2006. *Analisis Kestabilan Habitat dari Aspek Komposisi Jenis dan Kelimpahan* Phytoplankton *pada Sungai Galeh dan Sungai Panjang, SubDAS Rawa Pening.* **Alami 11 (1) : 36 – 46.**

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. 2003. *Eutrofikasi Waduk PB Soedirman Banjarnegara Ditinjau dari Sudut Makrofita Akuatik.* Disertasi (Tidak dipublikasikan). Program Pascasarjana. Universitas Padjadjaran. Bandung.

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. 2005. *Evaluasi Dampak Eutrofikasi Terhadap Biomassa Gulma Air (Studi Kasus di Waduk PB Soedirman – Banjarnegara).* **J. Agrista 9 (3) : 246 – 253.**

Wibowo, D.N. 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	ns	*
M x Z	2	ns	ns	*
Galat	10			
Total	17			

Keterangan : * = bermakna
ns = tidak bermakna

Lampiran 4. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data 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	ns
Zona waduk (Z)	2	ns	ns	ns
M x Z	2	ns	ns	ns
Galat	10			
Total	17			

Keterangan : * = bermakna
ns = tidak bermakna

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

Sumber keragaman	Derajat bebas	Kebermaknaan berdasarkan perbandingan F hitung dengan F tabel 0,05	
		COD	BOD
Ulangan	2		
Musim (M)	1	ns	ns
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	ns	ns
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	ns	ns
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	NO_2
Ulangan	2				
Musim (M)	1	ns	ns	*	*
Zona waduk (Z)	2	ns	ns	ns	ns
M x Z	2	ns	ns	ns	ns
Galat	10				
Total	17				

Keterangan : * = bermakna
ns = tidak bermakna

Lampiran 7. Kebermaknaan nilai F hitung sidik ragam data kelimpahan zooplankton dan fitoplankton selama penelitian.

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

Keterangan : * = bermakna
ns = tidak bermakna

Lampiran 8. Personalia Penelitian

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

Lampiran 9. 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