

Diatom Epipelik sebagai Bioindikator Kualitas Perairan Danau Rawa Pening

Tri Retnaningsih Soeprbowati, Jafron Wasiq Hidayat, Kariyadi Baskoro
Jurusan Biologi FMIPA Universitas Diponegoro Semarang

ABSTRACT

Diatom is a unicellular micro algae that had an important role in the food web and major contributor of oxygen in the water. The short life cycle, rapid reproduction, cosmopolite, wide spread distribution, variation in population, most are sensitive to the environmental changes, easily handle samples and identification, low cost of sampling and data analysis may promote diatoms as a powerful bioindicator of water quality. The unique siliceous frustules make diatoms able to preserve in the sediment.

Rawa Pening is a semi natural lake that administratively surrounded by four districts that consist of 27 villages. The main problem of this lake is erosion in the upstream and sedimentation in the downstream area as well as uncontrolled of aquatic plant growth, particularly water hyacinth (*Eichornia crassipes*) that induce lake shallowness. For people who live around Rawa Pening, this lake had been used for agricultural irrigation, fisheries, electricity power and tourism. To conserve the lake, as 3rd World Water Forum in Tokyo, March 2003 and 2006 – 2009 National Research Agenda there is a need of limnological research on the environmental changes. This research was conducted in order to study the potential used of epipellic diatom as bioindicator of lentic ecosystem, particularly Rawa Pening Lake. Water and sediment samples were taken from 27 sites from inlet, outlet and water body of Rawa Pening Lake.

There were 254 diatom species that consist of 8 Centrophycidae species and 246 Pennatophycidae species. The population varied between 6,989 and 3,781,000 individual/gram. Based on diversity indices of diatom, some part of Rawapening Lake was unstable, whereas the others were stable based on the diversity indices. Based on epipellic diatom, Rawa Pening Lake and its catchments area might be divided into 3 groups: agricultural lotic ecosystem, settlement lotic ecosystem and lentic ecosystem. The high population of *Synedra ulna*, *Nitzschia palea* and *Aulacoseira* indicated that the lake is eutrophic that tent to be hypereutrophic. It was supported by high concentration of total nitrogen and phosphorous. The concentration of heavy metals Cadmium, Chromium, Copper and Lead were very high in sediment. However, the government of Indonesia has not yet set up sediment quality criteria. The following research would be proposed on this matter.

Key words: diatom, bioindicator, water quality, Rawapening

PENDAHULUAN

Diatom sangat unik dan spesifik adalah arsitektur dan anatomi dinding selnya yang tersusun dari silika, sehingga membuatnya dapat tersimpan dalam waktu yang sangat lama dalam sedimen. Silisifikasi dinding sel diatom dipengaruhi oleh banyaknya kandungan silikon dalam air sebagai *soluble reactive silicon* (SRS): SiOH_4 . Tingginya kandungan silikon dalam air sangat baik bagi perkembangbiakan diatom. Namun, Sommer (1991) menemukan adanya korelasi antara kenaikan populasi diatom dengan menurunnya kandungan silikon dalam air. *Cyclotella*, *Stephanodiscus* dan *Melosira* justru mendominasi danau bila Si rendah, sedangkan *Fragillariaceae* cenderung mendominasi jika

konsentrasi Si perairan cukup tinggi. Silikon dapat disimpan dalam jumlah yang signifikan, oleh karena itu diatom tetap bisa tumbuh dalam perairan yang miskin akan Si, hanya biasanya biomasnya yang akan menurun. Berdasarkan sifat hidupnya, maka ada diatom yang planktonik (hidup meyatang pada perairan), dan diatom benthik (hidup menempel pada substrat). Diatom benthik dapat dikategorikan sebagai diatom epipelik (hidup pada substrat sedimen/lumpur), epifitik (menempel pada tumbuhan air), epilitik (menempel pada batuan), dan epizoik (menempel pada hewan). Diatom memiliki peranan sangat penting dalam siklus silika dan karbon di perairan, sehingga sustainabilitas perikanan dapat terjaga dengan baik. Hal ini berkaitan dengan dominannya diatom di laut yang berkontribusi 20

– 25% produktivitas laut sehingga diatom lebih produktif dibandingkan dengan hutan hujan di seluruh dunia (Mann, 1999). Oleh karena itu tidaklah mengherankan apabila diatom mempunyai peranan yang sangat penting dalam siklus silika dan karbon sehingga sustainability perikanan terjaga.

Ada dua kelompok Diatom yaitu Centrophycidae, yang memiliki simetri radial dan Pennatophycidae, yang tidak bersimetri atau bersimetri bilateral. Diatom merupakan alga yang kosmopolit, dijumpai hampir di semua habitat perairan. Beberapa spesies Centrophycidae, yang hidup di laut mempunyai gambaran yang kasar, sedangkan Pennatophycidae tertentu mempunyai garis-garis yang demikian halus. Bidang sumbu Pennatophycidae bisa berupa struktur yang homogen, dapat berlubang-lubang kecil, atau berupa parit yang membujur yang disebut raphe. Bidang sumbu yang tidak mempunyai parit yang memanjang disebut pseudoraphe. Diantara kedua ujungnya terputus oleh penebalan tengah (central nodule) dan/atau pada kedua ujungnya (polar nodule). Secara taksonomis diatom merupakan nama populer dari divisi Bacillariophyta, yang mempunyai 3 kelas yaitu Coccinodiscophyceae (diatom sentris), Fragillariophyceae dan Bacillariophyceae. Saat ini diketahui lebih dari 260 genus diatom hidup dengan lebih dari 100.000 jenis (Round *et al.*, 2000). Berdasarkan karakteristiknya, maka diatom merupakan bioindikator yang handal untuk kualitas perairan dibandingkan dengan organisme/kelompok organisme lainnya. Keunggulan tersebut antara lain: distribusi sangat luas, populasinya bervariasi, mempunyai peranan yang penting di dalam rantai makanan, dijumpai pada hampir semua permukaan substrat sehingga mampu merekam sejarah habitatnya; siklus hidup pendek, cepat berproduksi; banyak dari anggota spesiesnya yang sensitif terhadap perubahan lingkungan sehingga cepat meresponnya; mampu merefleksikan perubahan-perubahan kualitas air baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang; mudah dalam pengambilan; pengolahan sampel dan identifikasi, rendahnya biaya sampling dan analisis (Soeprbowati dkk, 2001; Gell *et al.*, 2007). Hal tersebut di atas memberi nilai tambah potensi diatom untuk biomonitoring ekosistem akuatik yang telah dikenal di seluruh dunia (Reid and Olgen, 2009). Pemanfaatan

diatom sebagai bioindikator kualitas perairan telah banyak diimplementasikan. Di Indonesia, diatom telah digunakan untuk memetakan kualitas air tujuh sungai di daerah Pantai Utara Jawa Tengah (Soeprbowati, dkk, 2001), kajian dampak urbanisasi di Pekalongan (Soeprbowati & Rahardian, 2003). Bertolak dari potensinya sebagai bioindikator tersebut, diatom telah banyak juga digunakan untuk kegiatan paleorekonstruksi perubahan lingkungan. Kegiatan paleorekonstruksi pada awalnya dilakukan dengan menggunakan Foraminifera, karena dinding selnya yang terbuat dari karbonat memungkinkannya dapat memfosil. Namun, foraminifera hanya dijumpai pada habitat laut sampai payau sehingga tidak dapat diimplementasikan untuk perairan tawar. Demikian halnya dengan Radiolaria, meskipun mempunyai dinding sel dari silika yang memungkinkannya dapat memfosil, namun habitatnya hanya terbatas pada laut dalam. Paleorekonstruksi adalah kegiatan reka ulang kondisi masa lalu berdasarkan sisa organisme yang tersimpan dalam lapisan sedimen, sehingga mencerminkan kondisi lingkungan perairan pada saat organisme tersebut diendapkan. Bioindikator untuk paleorekonstruksi haruslah organisme yang memiliki dinding sel yang tidak terdegradasi pada saat organisme tersebut telah mati dan diendapkan. Diatom memiliki potensi tersebut: Dinding selnya tersusun dari silika sehingga terawetkan selama proses sedimentasi. Diatom telah digunakan untuk kajian paleolimnologi di Ealden Pond Massachusetts, USA (Koster *et al.*, 2005); untuk merekonstruksi perubahan lingkungan pada ekosistem mangrove di Jawa Tengah (Soeprbowati dkk, 2007).

Potensi diatom sebagai bioindikator kualitas perairan memang sudah tidak diragukan lagi. Namun perlu dikembangkan spesies indeks diatom yang berasal dari Indonesia sehingga lebih tepat untuk implementasinya. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diidentifikasi permasalahan yaitu adanya perbedaan komunitas diatom pada ekosistem yang berbeda. Oleh karena itu maka penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kehandalan diatom sebagai bioindikator kualitas perairan di ekosistem lenthik (tertutup), dalam hal ini di Danau Rawa Pening.

Rawa Pening merupakan danau semi alami, yang secara alami terbentuk melalui proses letusan vulkanik yang mengalirkan larva basalt dan menyumbat aliran Kali Pening di daerah Tuntang. Akibatnya lembah Pening yang berhutan tropik menjadi rawa sehingga Danau Rawa Pening berbentuk membulat. Secara rekayasa teknik, pada tahun 1916, rekonstruksi I dam dikembangkan di hulu Sungai Tuntang, sehingga mengakibatkan naiknya permukaan air rawa. Tentu saja penggenangan lembah tersebut membawa dampak terhadap perubahan ekosistemnya, seperti penggabutan sisa-sisa hutan tropik, invasi tumbuhan air, terbentuknya pulau terapung dan berkembangnya komunitas akuatik.

Secara administratif, Danau Rawa Pening dikelilingi empat kecamatan yaitu Kecamatan Tuntang, Bawen, Ambarawa dan Banyubiru. Secara astronomis, terletak $7^{\circ}4' \text{ LS} - 7^{\circ}30' \text{ LS}$ dan $110^{\circ}24'46'' \text{ BT} - 110^{\circ}49'06'' \text{ BT}$. Danau Rawa Pening letaknya sangat strategis, 45 km sebelah selatan Semarang dan 9 km timur laut Salatiga, di segitiga pertumbuhan Yogyakarta, Solo (Surakarta) dan Semarang. Oleh karena itu perubahan tata guna lahan terjadi cukup tinggi, yang semula hutan berubah menjadi lahan budidaya, daerah pertanian menjadi pemukiman. Udara yang sejuk, eksotisme keindahan alamnya yang masih relatif alami menjadikan kawasan ini dilirik pengembang untuk properti sehingga telah banyak mengubah tata guna lahan.

Berdasarkan topografinya, Danau Rawa Pening terletak di daerah yang rendah dan dikelilingi oleh beberapa perbukitan dan gunung dengan kelerengan berkisar antara 8% hingga mencapai lebih besar dari 30%, seperti Gunung Telomojo (1895 m), Gunung Butak (1000 m), Gunung Balak (700 m), Gunung Payung dan Rong (600 m). Kondisi ini menyebabkan air di danau mengalami penambahan terus menerus dari 9 inlet yang terdiri dari 12 sungai, sementara air yang keluar hanya sedikit yaitu melalui Sungai Tuntang, yang merupakan satu-satunya outlet.

Danau Rawa Pening mempunyai panjang 4 km dan lebar 2,5 km, memiliki kapasitas air maksimum 65 juta m^3 dan minimum 25 juta m^3 dengan elevasi maksimum 463,90 dan minimum 462,05. Luas genangan maksimum 2.770 Ha pada musim penghujan dan minimum 1.650 Ha pada musim kemarau. Kurang baiknya vegetasi

penutup tanah di daerah daerah tangkapan Sub DAS Rawa Pening, mengakibatkan laju sedimentasi yang cukup tinggi yaitu rata-rata 316,8 ton/tahun pada musim penghujan dan 237,6 ton/tahun di musim kemarau. Kapasitas danau dalam menyimpan air di musim penghujan mampu mencegah bahaya banjir di daerah downstream. Akan tetapi penambahan air tersebut juga membawa material-material dari daerah hulu yang kemudian diendapkan di danau, sehingga memberi sumbangan endapan yang cukup besar.

Secara ekonomis, Danau Rawa Pening mempunyai peranan sangat penting bagi masyarakat sekitar, yaitu untuk irigasi pertanian, perikanan, pembangkit listrik tenaga air dan pariwisata. Penggunaan lahan yang ada di kawasan ini adalah tegalan 35%, sawah 18,3%, semak/lahan terbuka 11,6%, pemukiman 13,8%, perkebunan 8%, kebun campuran 7,8%, rawa/danau 4,5%, penggunaan lahan lainnya 1% yang kesemuanya sangat tergantung pada Rawa Pening (Anonim, 2000a). Keindahan alam, kesejukan serta keseimbangan alam yang masih relatif baik dibandingkan wilayah lain menjadikan kawasan ini menarik pengembang untuk membangun perumahan dan properti sehingga telah banyak merubah tataguna lahan di sekitarnya. Terjadi konversi dari lahan pertanian menjadi pemukiman, dari hutan menjadi lahan budidaya.

Secara historis, Rawa Pening merupakan salah satu kawasan tua, dimana sejarah jejak awal kebudayaan Jawa berasal dari kawasan ini dan kearifan lingkungan berkembang. Lembah yang dikenal sebagai Wening (serius dan tenang) mengandung makna dalam secara kultural maupun ekologi tradisional yaitu untuk memanfaatkan kawasan ini dengan hati yang sungguh-sungguh dan tenang tanpa keserakahan.

Secara ekologis, Danau Rawa Pening telah banyak mengalami perubahan, yang diindikasikan oleh tidak terkontrolnya pertumbuhan tanaman akuatik yang umumnya berkaitan dengan proses eutrofikasi. Kurang lebih 120 ha wilayahnya tertutup oleh *Eichornia crassipes*, 20 - 50 ha oleh *Hydrilla verticillata* dan 100 ha oleh *Salvinia cucullata* (Lehmusluoto, *et al.*, 1995). Akhir-akhir ini penutupan permukaan oleh tumbuhan air tersebut semakin besar persentasenya, bahkan pada

musim kemarau bisa mencapai 70%. Pertumbuhan yang tidak terkontrol ini menyebabkan penutupan permukaan perairan yang memicu munculnya pulau terapung, pendangkalan danau akibat terperangkapnya sedimen di akar tanaman, dan terakumulasinya seresah/busukan eceng gondok di dasar perairan. Permasalahan lain yang dihadapi oleh kawasan Rawa Pening adalah degradasi lingkungan berupa tekanan lahan di bagian hulu sebagai akibat praktek pertanian yang tidak berwawasan lingkungan. Keadaan ini jelas sangat berpengaruh terhadap fungsi utamanya sebagai penyimpan air. Kondisi tersebut diatas tentu saja sangat mempengaruhi siklus hidrologinya.

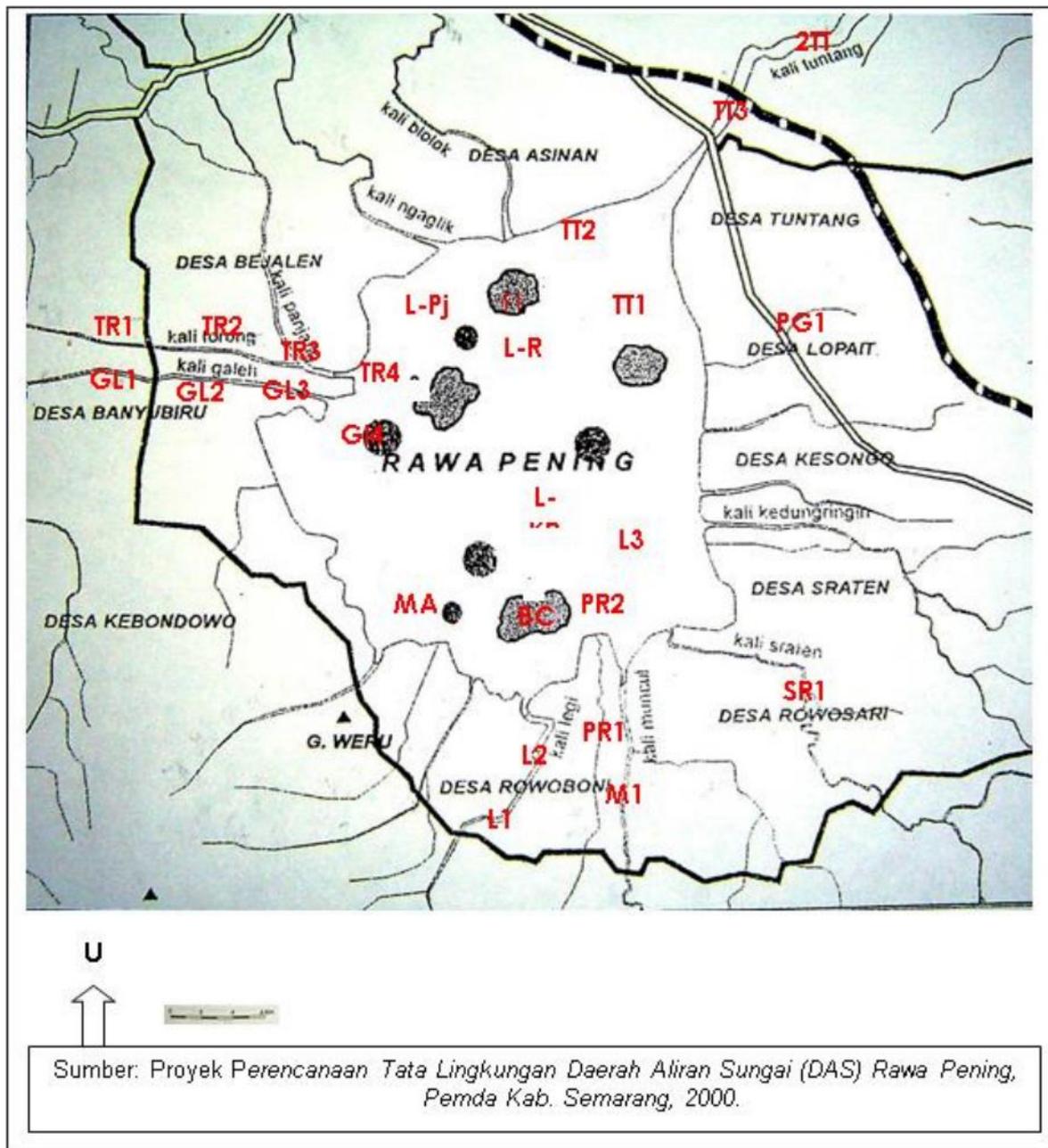
Volume air Danau Rawa Pening dalam kurun 22 tahun (tahun 1976 – 1998) mengalami penurunan 29,34%. Evapotranspirasi di Rawa Pening berkontribusi besar terhadap laju penurunan volume airnya. Curah hujan terendah di Danau Rawa Pening terjadi pada bulan Juli-Agustus yaitu 70-89,200 mm dan tertinggi pada bulan Januari yaitu 395,200 mm. Diprediksikan bahwa jika pendangkalan dan erosi yang terjadi tidak berubah, maka pada tahun 2021 Rawa Pening akan berubah menjadi daratan (Anonim, 2000b). Berpijak dari hasil tersebut di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kehandalan diatom epipelik sebagai bioindikator kualitas perairan khususnya pada ekosistem lenthik. Dengan mengaplikasikan metode ini, maka pengelolaan dan perlindungan perairan tawar akan dapat dilaksanakan dengan lebih efektif dan efisien.

METODE

Pendekatan yang dilakukan untuk pencapaian tujuan penelitian ini merupakan gabungan antara studi kasus dan kilas balik (*retrospektif cohort*). Rancangan unik inilah yang merupakan keunggulan penelitian ini, karena untuk kajian

diatom dan kondisi ekologis masa sekarang dilakukan dengan metode studi kasus, sedangkan untuk mengkaji perubahan lingkungan yang terjadi per satuan waktu dilakukan dengan kilas balik karena waktu dilakukannya kajian setelah perubahan itu terjadi. Dengan studi kasus maka tidak ada manipulasi yang dilakukan terhadap komunitas diatom, karena hidup dan matinya tetap di habitat aslinya. Sementara itu, dengan disain kilas balik akan dapat dijelaskan dinamika hubungan antara faktor penyebab perubahan lingkungan sekaligus beberapa efek yang ditimbulkannya.

Pengambilan sampel dilakukan pada ekosistem sungai yang merupakan inletnya, khususnya pada lokasi hilirnya di danau atau yang mendekati, serta titik-titik di dalam badan danau itu sendiri (Gambar 1, Tabel 1). Titik pengambilan sampel ditetapkan dengan mempertimbangkan kondisi perairan: terbuka, sedikit tertutup tumbuhan air, atau yang tertutup penuh tumbuhan air. Sampel sedimen diambil menggunakan corer yang telah dimodifikasi, kemudian dipotong tiap 5 sentimeter, untuk selanjutnya disebut sebagai lapisan atas (A), tengah (T) dan bawah (B). Pemisahan diatom dari sedimen dilakukan dengan menggunakan asam kuat dan potasium dikromat, dicuci dengan air murni sampai pH-nya netral. Residu diatom kemudian direkatkan pada gelas benda dengan perekat enthelan dan siap untuk diidentifikasi (Gell *et al.* 1999). Identifikasi diatom pada tiap perlapisan sedimen akan dilakukan dengan menghitung jumlah frustula semua jenis yang ada sampai dicapai minimal 100 frustula dari jenis yang dominan (Round, 1993). Analisis data akan dilakukan dengan menggunakan paket program PAST (Paleontological Statistics) versi 0.99 yang dikembangkan oleh Hammer, Harper & Ryan (2003).



Gambar 1. Peta daerah penelitian dan lokasi pengambilan sampel

Tabel 1. Lokasi pengambilan sampel di danau Rawa Pening dan daerah tangkapannya

KODE	NAMA LOKASI	KONDISI VISUAL
TR1	Sungai Torong hulu	Sedikit tumbuhan air
TR2	Sungai Torong daerah pertanian	Sedikit tumbuhan air
TR3	Sungai Torong hilir	Tertutup tumbuhan air (<i>Pistia</i>)
TR4	Muara Sungai Torong	Tertutup tumbuhan air (<i>Pistia</i>)
GL1	Sungai Galeh hulu	Bebas tumbuhan air
GL2	Sungai Galeh daerah pertanian	Sedikit tumbuhan air
GL3	Sungai Galeh hilir	Sedikit tumbuhan air

GL4	Muara Sungai Galeh	Tertutup penuh eceng gondok
MA	Sekitar Mata air Pening	Sebagian tertutup eceng gondok
L1	Sungai Legi hulu	Sedimen keras berbatu
L2	Sungai Legi hilir	Bebas tumbuhan air, riffle
L3	Muara Sungai Legi inlet ke danau	Tertutup penuh eceng gondok
BC	Bukit Cinta	Tertutup penuh eceng gondok
M1	Sungai Muncul hulu	Riffle, perkampungan dan pemancingan
PR1	Sungai Parat	
PR2	Sungai Parat inlet ke danau	Tertutup penuh eceng gondok
SR1	Sungai Sraten perkampungan	Bebas dari tumbuhan air
PG1	Sungai Pragunan	Kanopi pohon dadap serep, dominasi pohon pisang
TT1	Sungai Tuntang outlet Rawa Pening	Tertutup penuh eceng gondok
TT2	Sungai Tuntang sekitar dermaga	Tertutup penuh eceng gondok
TT3	Sungai Tuntang dekat stasiun KA	Tertutup penuh eceng gondok
TT4	Sungai Tuntang dekat pintu air	Tertutup penuh eceng gondok
FI	Pulau Terapung	Pada musim kemarau terangkat
L-S	Danau-Segalok	Eceng gondok
L-KR	Tengah danau -kedung ringan	Tertutup penuh eceng gondok
L-Pj	Tengah danau-sungai panjang	Tertutup penuh eceng gondok
L-R	Tengah danau-rengas	Tertutup penuh eceng gondok

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Danau Rawa Pening dan inlet serta outletnya dijumpai 254 jenis diatom penyusun komunitas epipelik, 8 jenis termasuk Centrophycidae dan 246 jenis Pennatophycidae. Populasinya bervariasi dari 6.989 sampai 3.781.000 individu/gram sedimen. Pada ekosistem danau cenderung mempunyai populasi yang cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan ekosistem sungai. Pada saat populasi tinggi di suatu lokasi, maka jumlah jenisnya cenderung rendah. Sebaliknya pada lokasi dengan jumlah jenis tinggi ada kecenderungan memiliki populasi yang relatif lebih rendah. Namun, tren tersebut tidak dijumpai di TT2 dan TT3 yang memiliki baik jumlah jenis maupun populasi yang relatif tinggi.

Berdasarkan struktur komunitas diatom epipelik, secara umum ekosistem Danau Rawa Pening dan ekosistem sungai yang merupakan inlet/outletnya kurang stabil sampai dengan stabil. Ekosistem sungai, khususnya di daerah *lacustrin* umumnya lebih stabil dibandingkan dengan ekosistem danau. Indeks keanekaragaman Shannon Wiener (H') diatom pada lapisan atas sedimen berkisar antara 1,73 dan 3,4 (Gambar 2). Ekosistem yang paling tidak stabil adalah Legi hulu (L1-A) dan

Torong (TR3-A), sedangkan lokasi yang paling stabil adalah Sungai Legi hilir (L2-A) dan Tuntang hilir (Tun4).

Sungai Galeh relatif stabil dan tidak banyak perubahan, hal ini ditandai dari variasi perubahan indeks H' yang berkisar 2.18 – 3.0. Hanya ada perubahan dominansi jenis. Hal ini juga didukung oleh dominannya *Synedra ulna*, dan *Meridion circulare* pada seluruh lapisan (Gambar 2).

Berdasarkan analisis Cluster yang dilakukan dengan berbasiskan kemelimpahan relatif diatom, maka terbentuk pengelompokan yang cenderung berdasarkan tataguna lahan. Yang memberikan gambaran nyata adalah kelompok pertanian (Kelompok II dan III), yang terbentuk dari Sungai Galeh dan Torong baik pada lapisan atas, tengah maupun bawah membentuk kelompok yang terpisah dari sungai lainnya. Seperti diketahui, kedua sungai tersebut melewati daerah pertanian, sehingga masukan nitrogen dan fosfat yang berasal dari pupuk pertanian lebih tinggi dibandingkan tempat lainnya. Sebagai akibatnya maka komposisi dan populasi diatom juga spesifik. Kelompok ekosistem danau, tergambaran cukup jelas pada Kelompok I dan IV, sedangkan kelompok V menggambarkan

ekosistem yang melewati pemukiman (Gambar 3). Dijumpainya L-R-T pada kelompok V ini mengindikasikan bahwa beberapa saat yang lalu Sungai Rengas melewati daerah pemukiman juga (Gambar 3). Pulau terapung (F1-A) dulunya merupakan daerah pertanian serupa dengan yang tergambar pada GL1-A, GL1-B, GL3-B dan TR3-T.

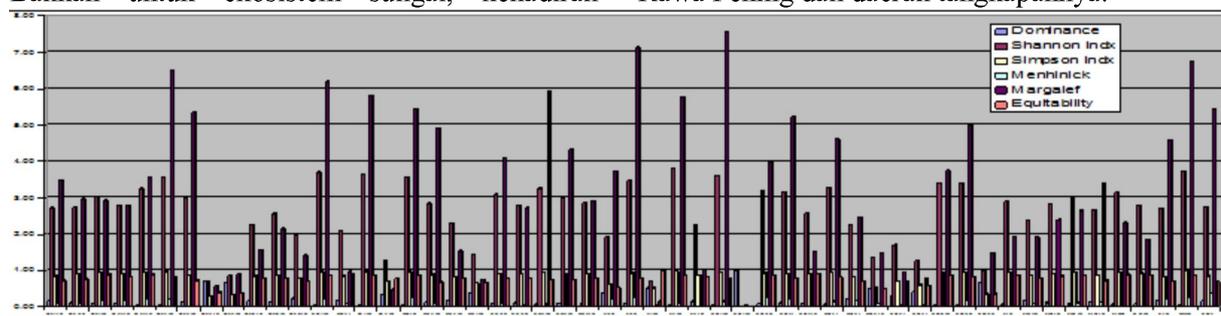
Dari analisis similaritas yang telah dilakukan didapatkan *Synedra ulna* merupakan spesies utama yang sangat berperan dalam komunitas diatom di Danau Rawa Pening dan daerah tangkapannya. Hal ini sudah sejak lebih 30 tahun lalu terekam. Golenbolth (1979) menemukan *Synedra ulna* sebagai spesies dominan dari komunitas fitoplankton. Silalahi (1989) menyampaikan bahwa genus *Gomphonema*, *Melosira*, *Navicula*, *Nitzschia* dan *Synedra* selalu melimpah sepanjang tahun sebagai penyusun komunitas fitoplankton. Spesies diatom planktonik yang mendominasi berkaitan dengan eutrofikasi di Rawa Pening antara lain *Cymbella*, *Melosira granulata*, *Navicula placentula* dan *Synedra ulna* (Wibowo, 2004).

Keunggulan diatom adalah kemampuan hidupnya baik bersifat planktonik maupun benthonik. Bahkan untuk ekosistem sungai, kehadiran

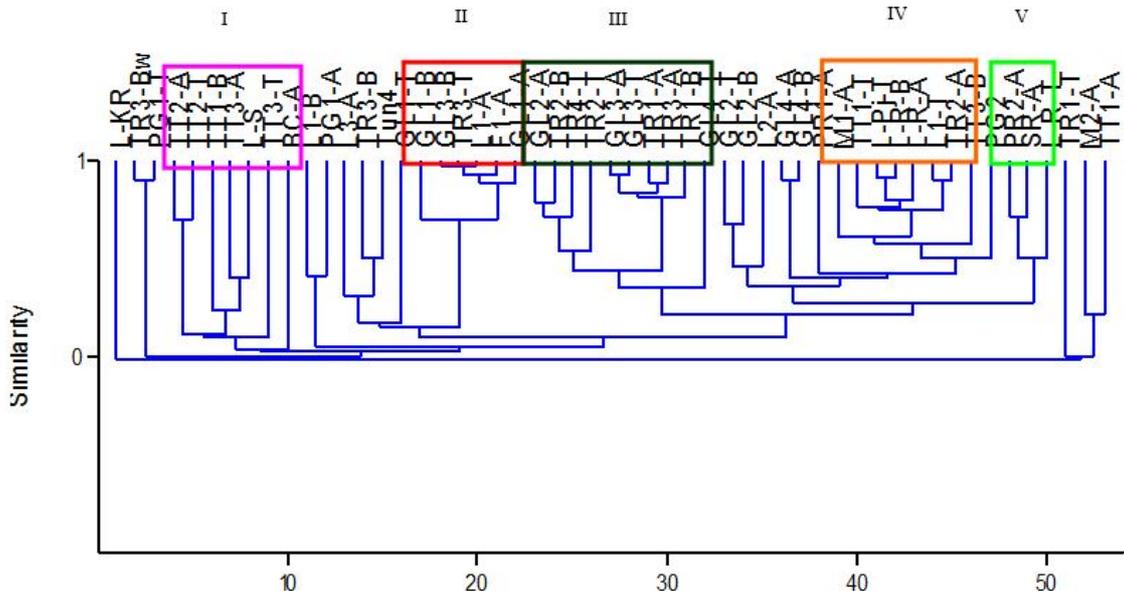
Fragillaria virescens, *Nitzschia palea* dan *Synedra ulna* dengan kemelimpahan lebih dari 40% mengindikasikan perairan tercemar berat. *Gomphonema lanceolatum* merupakan spesies indikator perairan bersih - tercemar ringan, sedangkan *Pinnularia gibba* indikator perairan tercemar sedang (Soeprbowati dkk, 2001).

Kehadiran *Aulacoseira ambigua*, *Synedra ulna*, *Nitzschia palea* di suatu perairan biasanya berasosiasi dengan kondisi eutrofik perairan dan pencemaran organik (Gell *et al.*, 1999, 2007; Soeprbowati dkk, 2001). *Synedra ulna* dijumpai melimpah di daerah industri (Soeprbowati & Rahadian, 2003).

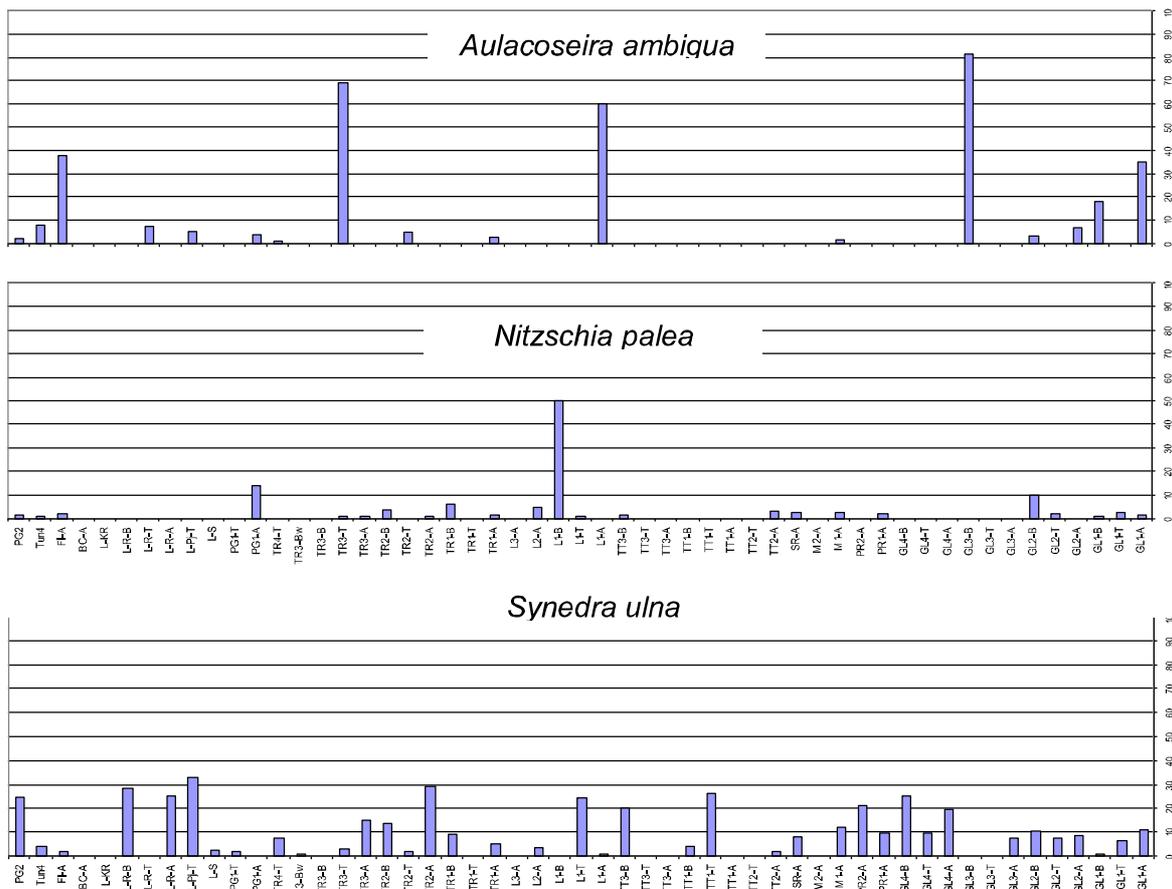
Fragillaria virescens dijumpai melimpah pada temperatur 25°C seperti halnya *Achnanthes minutissima*, *A. pucilla*, sedangkan *Nitzschia palea*, *Neidium affine*, *Caloneis bacillum*, *Eunotia exigua*, *Neidium iridis*, *Stauroneis anceps*, *A. helvetica* dan *Tabellaria flocculosa* dijumpai melimpah pada temperatur 10°C. Spesies tersebut digunakan sebagai dasar pengembangan model untuk merekonstruksi kondisi lingkungan di masa lampau danau di Pulau Baffin Canada (Joynt & Wolfe, 2001). Spesies diatom diatas juga dijumpai di Danau Rawa Pening dan daerah tangkapannya.



Gambar 2. Indeks diversitas dan pemerataan diatom epipelik di danau Rawa Pening dan inlet serta outletnya



Gambar 3. Pengelompokan lokasi penelitian berdasarkan analisis Cluster berbasis korelasi



Gambar 4. Kemelimpahan relatif 3 spesies dominan di Danau Rawa Pening

Synedra ulna dijumpai dominan hampir pada semua perlapisan sedimen di Sungai Galeh dan Torong, yang notabene kandungan Total Nitrogen dan Total Fosfornya tinggi. *Synedra ulna* berasosiasi sangat kuat dengan tingginya kandungan organik (Gell, *et.al.*, 1999). Hal tersebut dibuktikan dengan dengan kualitas air berdasarkan pengukuran beberapa parameter fisik-kimia yang menunjukkan bahwa perairan Danau Rawa Pening termasuk kategori eutrofik bahkan cenderung ke hipereutrofik (OECD, 1992), dan melebihi Standar Baku Mutu Lingkungan untuk air minum, peternakan maupun perikanan (PP No 82 Tahun 2001) kecuali di daerah mata air. Pola kandungan Total Nitrogen di Danau Rawa Pening dan daerah inlet/outletnya bervariasi, dari yang tertinggi 845 mg/L (misalnya di Sungai Torong, TR2 dan TR3) dan 820 mg/L di Galeh (GL-2) dan terendah sebesar 228 mg/L, di Rengas Inlet (L-R). Kandungan Total Fosfor berkisar antara 4 – 71 mg/L.

Suatu perairan dikatakan hipereutrofik jika konsentrasi Total Fosfor perairan adalah 100 µg/L (OECD, 1992). Jika mengacu pada Standar Baku Mutu Lingkungan untuk air minum konsentrasi ambang atas Total Fosfor adalah 0,2 mg/L (PP No 82 Tahun 2001). Kondisi yang eutrofik dari Danau Rawa Pening beserta inlet dan outletnya sudah terdeteksi sejak tahun 1979 (Soeprbowati dkk, 2003; Wibowo, 2004). Namun jika mengacu pada kandungan klorofil daerah ini termasuk kategori mesotrofik. Kandungan klorofil tertinggi dijumpai di Bukit Cinta (21,72 µg/L, Wibowo, 2004).

Pada penelitian ini (tahun 2004 dan 2005) pH di sungai (inlet) dan Danau Rawa Pening cenderung netral, kecuali di sumber mata air, Bukit Cinta dan pulau terapung dengan pH tertinggi 9,52 di sumber mata air. Diatom yang secara signifikan berkorelasi dengan pH >7,46 antara lain *Achnanthes minutissima*, *A. pusilla*, *Brachysira zellensis*, *Cyclotella rossii*, *Cymbella minuta*, *Navicula radiosa*, *Nitzschia dissipata* dan *Nitzschia palea* (Bigler & Hall, 2002). Spesies tersebut termasuk yang digunakan sebagai indikator perubahan iklim melalui paleo-rekonstruksi.

Pola pengelompokan kualitas air serupa dengan pola pengelompokan diatom. Analisis Cluster yang telah dilakukan berdasarkan kualitas airnya,

maka perairan di Danau Rawa Pening dan inlet serta outletnya dapat dikelompokkan menjadi 2. Kelompok pertama didominasi oleh perairan ekosistem lotik (sungai) dan kelompok kedua didominasi oleh perairan ekosistem lentik (danau). Lebih sempit lagi pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa sungai yang dekat dengan pertanian ada dalam satu kelompok (TR1, GL1, GL2, TR3, TR2, GL3, PJ1) sementara sungai yang dekat dengan pemukiman membentuk kelompok yang lain (PR1, SR1, L1, L2, L-M). Di sisi lain, ekosistem danau mempunyai kualitas air yang serupa (TT3, L-KR, L-S, L-D, L-PR, L-3, BC), sedangkan inlet dan outlet danau dalam kelompok yang lain. Pengelompokan tersebut juga menunjukkan *site specific*. Bagian badan air Danau Rawa Pening yang tertutup oleh eceng gondok dan yang terbuka masing-masing mempunyai kualitas air yang berbeda.

Kandungan total nitrogen, total fosfor dan bentuk terlarutnya, serta silikat maupun logam berat Cu, Cd, Cr, Pb di badan sungai cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan di daerah inlet danau maupun di danau Rawa Pening sendiri. Jika dibandingkan antar perlapisan sedimen, maka lapisan atas mempunyai konsentrasi lebih tinggi dibandingkan konsentrasi pada lapisan di bawahnya. Tren ini agak berbeda untuk Sungai Torong³ (TR-3T), yang lapisan tengahnya mempunyai konsentrasi Total Nitrogen (TN) lebih tinggi dibandingkan lapisan atas maupun bawahnya. Berdasarkan wawancara yang dilakukan didapatkan informasi bahwa daerah tersebut dulunya merupakan daerah genangan, sehingga akumulasi bahan organik lebih tinggi sehingga kandungan total nitrogenpun juga tinggi. Dari empat logam berat yang dikaji, rata-rata kandungan yang tertinggi adalah Cr, diikuti Cu, Cd dan terendah Pb. Sungai dengan kandungan ke-empat logam yang terendah adalah Torong, Galeh, Sraten dan Legi, Namun dari ke-empat sungai tersebut pada muaranya di badan danau konsentrasi logam beratnya sangat tinggi.

Kadar konstituen kimiawi yang terkandung di dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dengan yang ada dalam air karena sedimen di Danau Rawa Pening merupakan campuran antara lumpur dan biomassa yang sedang dan sudah membusuk membentuk sistem gambut. Gambut mengandung berbagai senyawa organik, polikarboksilat, khususnya asam fulvat, humin

dan humat. Keberadaan asam organik dikuatkan oleh kenyataan bahwa pH air cenderung bersifat asam. Asam-asam organik tidak mungkin terdapat pada keadaan bebas, karena sifatnya yang mudah bereaksi dengan ion-ion logam yang menghasilkan garam-garam baik yang dapat larut dalam air maupun tidak. Nitrat misalnya, lebih banyak berada di dalam sedimen yang sudah tentu berada sebagai garam dengan logam-logam dan teradsorpsi kuat oleh lapisan sedimen bergambut. Asam humat memiliki kemampuan adsorbosi yang tinggi terhadap ion logam-logam. Kemampuan adsorbosi asam humat terhadap logam berat telah dibuktikan antara lain: Cd(II) oleh Alimin dkk (2000); , Mg(II), Ca(II), Zn(ii) dan Cd(II) oleh Fadiawati (2000); Cu(II) oleh Santoso dkk (2000); Cd(II) dan Cr(III) oleh Santoso (2001); Cr (III), Cu(II), Co(II) dan Ni(II) oleh Sudiono (2001).

Konsentrasi logam berat Cd, Cr, Cu dan Pb sedimen di Danau Rawa Pening sangat tinggi, Cd dengan kisaran 3,85 – 19; Cr antara 2 – 26,14; Cu antara 1 – 14,5 dan Pb antara 0,5 – 34, 85 mg/kg sedimen kering. Konsentrasi logam berat tersebut melebihi ambang atas Kriteria Kualitas Sedimen ANZECC (Australia-New Zeland Guidelines, Batley & Maher, 1999). Ambang atas untuk Cd, Cr, Cu dan Pb berturut-turut adalah 10, 370, 270 dan 220 mg/g sedimen kering. Melihat kenyataan ini, maka sebenarnya pemerintah Republik Indonesia harus segera menetapkan Standar Baku Mutu untuk Sedimen, mengingat ada korelasi yang signifikan antara kandungan materi di sedimen dengan yang terlarut dalam air.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dijumpai 254 jenis diatom, 8 jenis termasuk Centrophycidae dan 246 jenis Pennatophycidae dengan populasinya bervariasi dari 6.989 sampai 3.781.000 individu/gram sedimen. Berdasarkan indeks keanekaragaman diatom, maka ekosistem Danau Rawa Pening dalam kondisi kurang stabil sampai dengan stabil. Dominannya *Aulacoseira ambigua*, *Nitzschia palea* dan *Synedra ulna* mengindikasikan perairan yang eutrofik. Berdasarkan pengukuran kandungan Total Nitrogen dan Total Fosfor maka Danau Rawa Pening beserta inlet/outletnya termasuk kategori eutrofik bahkan cenderung ke hipereutrofik. Berdasarkan kualitas air, sedimen dan diatom epipelik, maka Danau Rawa Pening dan

inlet/outletnya dapat dikelompokkan menjadi ekosistem danau, ekosistem sungai-pertanian dan ekosistem sungai-pemukiman.

Kandungan logam berat Cd, Cr, Cu dan Pb sangat tinggi melebihi ambang batas maksimal ANZECC. Penelitian ini mendasari pentingnya penetapan Standar Baku Mutu Sedimen untuk Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas dukungan dana Hibah Bersaing XII yang dibiayai oleh Oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Pekerjaan Penelitian Nomor: 031/SPPP/PP/DP3M/IV/2005 Tanggal 11 April 2005. Terima kasih kepada Kariyadi Baskoro yang membantu dalam pembuatan dokumentasi dan Nina Desianti yang membantu dalam compiling data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ALIMIN, NARSITO, SANTOSA, S.J. (2000). Studi Interaksi Cadmium dengan Asam Humat. *Prosiding Seminar Nasional Kimia V*, Yogyakarta: 149-152.
- [2] ANONIM, 2000a. Penyusunan rencana pengelolaan kawasan Rawa Pening Propinsi Jawa Tengah. BAPPEDA JATENG – Pusat Penelitian Perencanaan Pembangunan Nasional, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- [3] ANONIM, 2000b. Proyek Perencanaan Tata Lingkungan Daerah Aliran Sungai (DAS) Rawa Pening. Pemerintah Kabupaten Semarang.
- [4] FADIAWATI, N. (2000). Sorpsi-desorpsi Magnesium (II), Kalsium (II), Seng (II), dan Kadmium (II) pada Asam Humat dan Bentonit sebagai Model Sistem Tanah Gambut. *Thesis*. Program Pasca Sarjana, Universitas gadjah Mada Yogyakarta.
- [5] BATLEY, G.E. and MAHER, W.A. (1999). The Development and Application of ANZECC Sediment Quality Guidelines. *Australasian Journal of Ecotoxicology*.
- [6] BIGLER, C. and HALL, R.I. (2002). Diatoms as Indicators of Climatic and Lymnological Change in Swedish Lapland: a 100-lake calibration set and its validation

- for paleo-ecological reconstructions. *J. of Paleolimnology* 27: 97-115
- [7] GELL, P.A.; SONNEMAN, J.A.; REID, M.A.; ILLMAN, M.A. and SINKOCK, A.J. 1999. An Illustrated Key to Common Diatom Genera from Southern Australia. Operation Research Centre for Freshwater Ecology Identification Guide No. 26. Thurgoona. New South Wales.
- [8] GELL, P.A.; TIBBY, J.; LITTLE, F.; BLDWIN, D.; and HANCOCK, G. 2007. The impact of regulation and salinization on floodplain lakes: The Lowe River Murray, Australia. *Hydrobiologia* 591: 135 – 146.
- [9] HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; and RYAN, P.D. (2003). PAST: Paleontological Statistics. Ver 9.9. <http://folk.uio.no/ohammer/past>.
- [10] JOYNT III, E.H. and WOLFE, A.P. (2001). Paleoenvironmental Inference Models from sediment Diatom Assemblages in Baffin Island lake (Nuwanut, Canada) and Reconstruction of Summer Water Temperature.
- [11] KOSTER, D.; PIENITZ, R.; WOLFE, B.B.; BARRY, S.; FOSTER, D.R. and DIXIT, S.S. (2005). Paleolimnological Assessment of Human-induced impacts on Ealden Pond (Massachusetts, USA)
- [12] LEHMUSLUOTO, P.; MACHBUB, B.; TERANGNA, N.; ACHMAD, F.; BOER, L.; SETIADJI, B.; BRAHMANA, S. S and PRIADI, B. (1995). Major lakes and reservoirs in Indonesia: an overview. *Tropical Limnology, vol I. Present Status and Challenges* (eds. TIMOTIUS K. H. and GOLDENBOTH, F): 11-28. Proceeding of the International Conference on Tropical Limnology in Commemoration of the 65 Anniversary of the Ruttner-Thienemann Limnological Sunda Expedition, 4-8 July 1994, Salatiga.
- [13] MANN, D.G. (1999). The species concept in diatoms. *Phycologia* 38 (6), 437-495.
- [14] OECD. 1982. Eutrophication of Waters, Monitoring Assessment and Control, Paris.
- [15] REID, M.A. and OGEN, R.W. 2009. Factor affecting diatom distribution in floodplain lakes of the Southeast Murray Basin, Australia, and its implication for paleolimnological studies. *Journal of Paleolimnology* 41: 453-470.
- [16] ROUND, F. E. (1993). A review and methods for the use of epilithic diatoms for detecting and monitoring changes in river water quality. Methods for the examination of waters and associated materials. HMSO, London.
- [17] ROUND, F. E.; CRAWFORD, R.M. and MANN, D.G. (2000). The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera. 2nd. Cambridge University Press, UK.
- [18] SANTOSA, S.J., SUDIBYO, S., dan TRISUNARYANTI, W. (2000). Kinetics of Cu(II) Sorption by Humic Acid. *Proceeding of the 10th International Conference of the International Humic Substances Society*. Toulouse, France: 589-593.
- [19] SILALAH, A.U. (1989). Periodisitas Plankton di Danau Rawa Pening. PS. Ekologi Akuatik, F. Biologi Universitas Satya Wacana, Salatiga.
- [20] SOEPROBOWATI, T.R. and RAHARDIAN, R. (2003). Diatom and urbanization: A Case Study at Banger River Pekalongan. *Paper presented in the International Conference on Environmental and Urban Management*. University of 1-3 August 2003. Soegyopranoto, Semarang.
- [21] SOEPROBOWATI, T.R.; SUGONDO, H.; HENDRARTO, I. B.; SUMANTRI, I. and TOHA, B. (2001). Diatom and Ecological Changes of the River. *Seri Penelitian Fakultas Biologi* 4(2): 72-97, edisi khusus Prosiding Seminar Nasional "Peranan Fungsi Ekologis dalam Pengelolaan Lingkungan". Universitas Satya Wacana, Salatiga.
- [22] SOEPROBOWATI, T.R.; SUPRPTI, N.H.; ZAILANTINI, S.; SULASTINI, D. (2003). Comparasi Diatom Epifitik dan Epipelik di Danau Rawa Pening. *Prosiding Seminar Nasional Danau Sebagai Microcosm*. 3 Februari 2003. F. Biologi UGM.
- [23] SOEPROBOWATI, T.R.; SUEDY, S.W.A.; RAHARDJO, A.T; MARYUNANI, K.A. Paleoreconstruction of Ecological Changes in Ecological Changes in Mangrove Ecosystems in the Northern Coast of Central Java Based on Diatoms. *Paper presented in*

*the International Seminar Advances
Biological Science: Contribution Towards a
Better Human Prosperity September 7th 8th
2007*

*Faculty Biology, Gadjah Mada University,
Yogyakarta, Indonesia*

- [24] SOMMER, U. (1991). A comparison of the droop and the monod models of nutrient limited growth applied to natural populations of phytoplankton. *Functional Ecology*5: 535-544.
- [25] SUDIONO, S. (2001). Sifat Asam Basa Asam Humat dan Interaksinya dengan Kromium (III), Tembaga (II), Kobalt (II) dan Nikel (II). *Thesis*. Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- [26] WIBOWO, H. (2004). Tingkat Eutrofikasi Rawa Pening dalam Kerangka Kajian Produktivitas Primer Fitoplankton. *Thesis Magister Ilmu Lingkungan*, Program Pasca Sarjana UNDIP, Semarang 2004.