

PENGELOLAAN KUALITAS PERAIRAN BERDASARKAN ANALISIS PALEOLIMNOLOGI MENGGUNAKAN DIATOM

Tri Retnaningsih Soeprabowati^{1,2}, Sri Widodo Agung Suedy¹

¹Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro,
Jalan Prof Soedarto SH Tembalang Semarang

²GProgram Pascasarjana Univeritas Diponegoro, Jalan Imam Bardjo No 5, Semarang

trsoeprabowati@live.undip.ac.id

ABSTRAK

Masalah kualitas air di Indonesia meningkat dengan pesat seiring dengan perubahan yang terjadi di daerah tangkapan air. Banyak penelitian yang telah dilakukan membuktikan potensi diatom sebagai paleoindikator perubahan lingkungan, khususnya untuk status trofik. Keunggulan diatom dalam analisis paleolimnologi atau paleorekonstruksi berkaitan dengan dinding selnya dari silika, sehingga dapat tersimpan dengan baik dalam sedimen. Danau Rawapening merupakan danau paling kecil di antara 15 danau prioritas nasional 2010-2014, dan dipilih dalam penelitian ini karena degradasi kualitas airnya. Analisis paleolimnologi menggunakan diatom diawali dengan penentuan lokasi coring di Danau Rawapening. Langkah ke 2 adalah pengirisan sampel sedimen hasil coring untuk analisis diatom dan penentuan umur sedimen. Analisis diatom terdiri dari 3 tahap: proses digesti untuk memisahkan diatom dari sedimen dengan asam klorida diikuti dengan hidrogen peroksida, pembuatan preparat diatom pada gelas benda, dan identifikasi-enumerasi diatom. Rekonstruksi dan prediksi kandungan fosfat Danau Rawapening yang telah dilakukan dan dipublikasikan (Soeprabowati *et al.*, 2012) dibandingkan dengan kandungan fosfat pada sampling tahun 2015. Dalam penelitian terdahulu diprediksi pH Danau Rawapening cenderung untuk basa. Hal ini terbukti pada 3 lokasi penelitian yang sama antara tahun 2008 dan 2015. Hal serupa juga terjadi untuk kandungan fosfat yang cenderung meningkat seiring waktu. Fungsi transfer diatom dapat digunakan sebagai landasan dalam kualitas air. Pengelolaan Danau Rawapening saat ini hanya fokus dalam pemanenan eceng gondok karena menganggu turbin penggerak PLTA dan irigasi. Pemanenan eceng gondok ini hanya menyelesaikan permasalahan sesaat, karena problem utamanya adalah eutrofikasi. Kolam pengolahan limbah (*water impoundment*) harus dibuat di inlet danau guna menurunkan konsentrasi nutrien dalam hal ini nitrogen dan fosfor, sehingga pertumbuhan eceng gondok menurun.

Kata kunci: kualitas air, diatom, paleolimnologi, eutrofikasi, Rawapening

PENDAHULUAN

Lingkungan, secara alamiah mengalami perubahan sebagai bagian dari dinamika menuju kesetimbangan. Pendugaan perubahan memerlukan seri data yang lengkap dari tahun ke tahun dalam pendeterminasi perubahan tersebut. Namun seringkali *database* dalam kurun waktu yang panjang tidak dimiliki, bahkan oleh negara maju sekalipun. Alam menyimpan *database* lengkap yang terdokumentasi dengan baik di dalam sedimennya yang merekam perubahan yang terjadi di dalam perairan. Kebanyakan organisme akan terdepositasi ketika mati. Banyak dari organisme tersebut yang kemudian membusuk - terurai dan terdaur ulang lagi untuk kemudian masuk ke dalam rantai makanan. Namun ada diantara

organisme mati tersebut yang bagian tubuhnya tidak dapat terurai sehingga tersimpan di dalam sedimen, yang kemudian dikenal sebagai *death assemblages* dan digunakan untuk merekonstruksi kondisi lingkungan pada saat organisme tersebut hidup (Reid, 2005).

Rekonstruksi adalah kegiatan reka ulang kondisi masa lalu berdasarkan petunjuk organisme yang tersimpan dalam lapisan sedimen, sehingga mencerminkan kondisi lingkungan pada saat organisme tersebut diendapkan. Bioindikator untuk rekonstruksi harus 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 deposisi. Diatom merupakan alga dominan di hampir semua ekosistem perairan tawar, dengan kontribusi 20-25% produksi primer, dan mempunyai peranan yang sangat penting dalam siklus silika dan karbon (Mann, 1999; Smol, 2008). Kolonisasi diatom pada habitat baru cukup cepat. Saat ini diketahui lebih dari 260 genus diatom hidup dengan lebih dari 100.000 jenis (Round *etal.*, 2000). Taksa yang berbeda memiliki toleransi terhadap variabel lingkungan yang berbeda pula. Oleh karena itu, kumpulan jenis diatom dapat secara efektif digunakan untuk pendugaan lingkungan perairan di masa lampau (John, 2000). Saat ini, pengembangan diatom lebih banyak pada aplikasi pendugaan lingkungan masa lampau (Smol, 2008).

Diatom merupakan nama umum yang biasa digunakan untuk divisi Bacillariophyta. Diatom berasal dari bahasa Yunani *dia* yang berarti melalui dan *tomos* yang berarti terpotong menjadi 2 bagian seperti cawan petri. Diatom merupakan mikroalga yang dapat dijumpai di berbagai macam habitat, dari mulai ekosistem laut, perairan tawar, bahkan dapat pula dijumpai di tanah yang lembab.

Diatom sangat mudah dikenali dan dengan jelas dapat dibedakan dengan alga lainnya dari dinding selnya yang seperti gelas dengan pori-pori dan ornamentasinya. Diatom merupakan produser primer perairan dan berkontribusi 23,4% karbon global (Mann, 2010). Dinding sel terdiri dari 2 bagian yang saling menutup seperti cawan petri. Dinding sel ini mengandung 95% silikat sehingga dapat terawetkan di dalam sedimen. Keunggulan inilah yang menjadikan diatom sebagai bioindikator kualitas lingkungan yang handal. Diatom mempunyai

distribusi yang sangat luas tetapi kebanyakan dijumpai di perairan tawar, meskipun banyak juga yang hidup di laut (Round *et al.*, 2000).

Hal menarik dari diatom yang membuatnya sangat unik dan spesifik adalah arsitektur dan anatomi dinding selnya (striae) yang tersusun dari silika, sehingga diatom dapat tersimpan dalam waktu yang sangat lama dalam sedimen. Striae ini merupakan topangan yang memperkuat kemampuannya untuk hidup. Pori-pori atau celah pada dinding diatom berperan dalam pengambilan unsur hara dan pertukaran materi. Bahan silikat lebih banyak dijumpai pada diatom bentik. Silisifikasi dinding tergantung pada kandungan silikat yang dapat dimanfaatkan dari air.

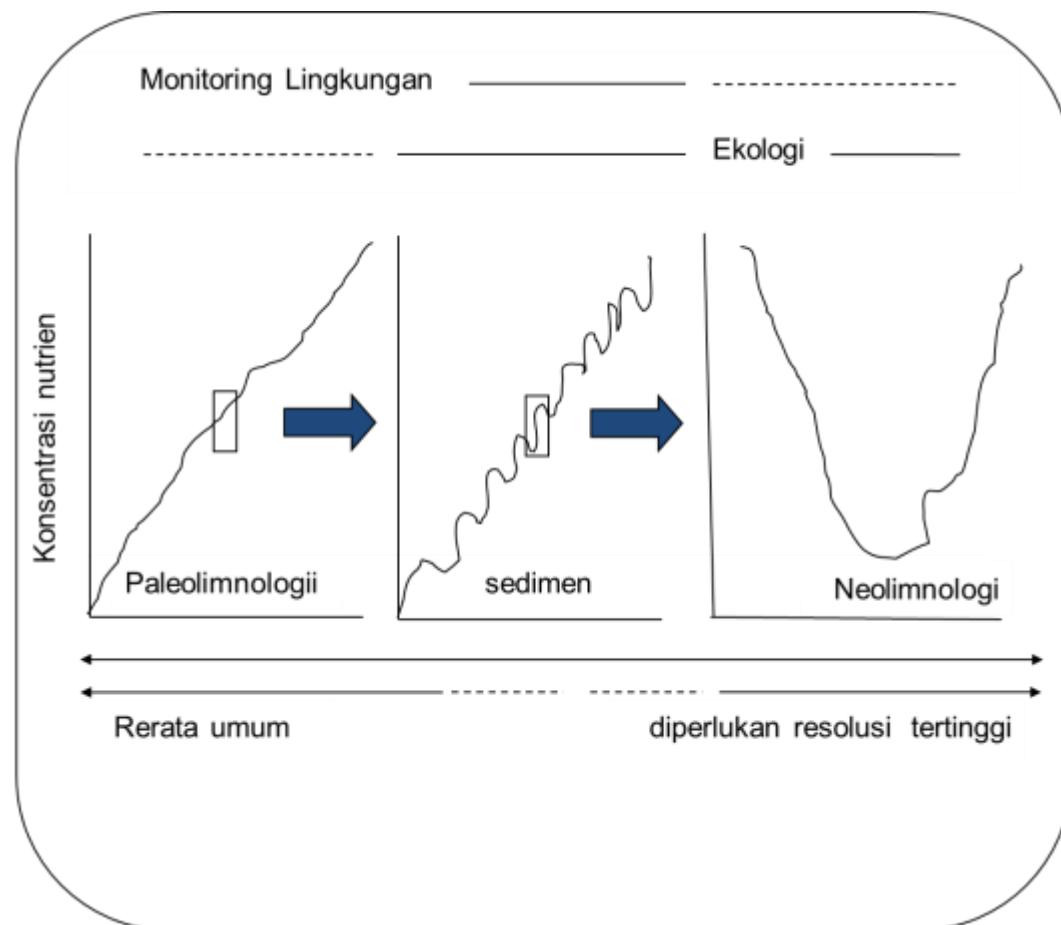
Diatom merupakan bioindikator kualitas perairan yang potensial karena kedudukannya sebagai produsen primer sehingga mempunyai peranan sangat penting dalam rantai makanan; siklus hidup pendek; cepat bereproduksi; dapat dijumpai hampir di semua substrat sehingga mampu merekam perubahan habitatnya; distribusi luas dengan populasi yang bervariasi; mampu merefleksikan perubahan kualitas air karena banyak spesiesnya yang sensitif terhadap perubahan lingkungan sehingga cepat meresponnya; mudah dalam pengambilan dan preparasi sampel; rendahnya biaya sampling dan analisis; banyak referensi untuk identifikasi (John, 2000).

Paleolimnologi mempelajari tentang sejarah karakteristik dan sifat perairan tawar. Karakteristik tersebut meliputi aspek fisik, kimia, ekologi, geografi, hidrologi, zoologi dan biologi yang tersimpan dalam sedimen. Paleolimnologi merupakan ilmu perairan tawar yang fokus pada interpretasi sekuen perlapisan sedimen dan proses diagenetik yang dapat mengubah rekaman tersebut. Tujuan dari paleolimnologi adalah untuk memperoleh gambaran kondisi di masa lampau, produktivitas, dan perubahan parameter-parameternya yang menyebabkan ekosistem akuatik berubah tahapan produktivitasnya (Wetzel, 2001). Smol (2008) mendefinisikan paleolimnologi sebagai ilmu multidisiplin yang memanfaatkan informasi fisik, kimia dan biologi yang tersimpan di dalam profil sedimen untuk merekonstruksi kondisi lingkungan di masa lampau, khususnya pada ekosistem akuatik *inland*.

Pendekatan paleolimnologi merupakan pendekatan yang penting, sangat efektif dan murah dalam menjawab banyak permasalahan kualitas air, terutama di negara berkembang. Dalam perspektif sejarah, dengan mengetahui kualitas perairan di masa lampau, maka akan dapat diprediksi kualitas perairan di masa mendatang. Sejarah tidak hanya sekedar menceritakan kembali masa lampau, tetapi mempunyai makna yang lebih dalam sebagai pengingat (*reminder*) dan pemeringat (*warning*). Paleolimnologi merupakan ilmu yang mempelajari masa lampau untuk memprediksi masa depan.

Studi paleolimnologi perlu dikembangkan sebagai dasar perencanaan masa depan danau. Paleolimnologi merupakan salah satu alat dalam merencanakan mitigasi terhadap perubahan iklim global berdasarkan korelasinya dengan jejak masa lalu. Namun, saat ini kajian paleolimnologi belum banyak ditekuni di Indonesia (Hehanusa & Haryani, 2009).

Neolimnologi mempelajari karakteristik dan sifat perairan tawar dalam kurun waktu tahun sampai 10 tahun. Kegiatan yang dilakukan dalam kurun waktu tersebut merupakan pemantauan lingkungan, umumnya dengan fluktuasi tinggi. Sementara itu, paleolimnologi mempelajari karakteristik dan sifat perairan tawar dalam kurun waktu ratusan tahun, yang lebih menggambarkan rerata kualitas lingkungan (Gambar 1; Anderson, 1995). Sampel sedimen dengan ketebalan 50 – 76 cm mampu mengungkap lingkungan perairan yang terjadi selama kurun waktu 300 tahun (Pienitzs *et al.*, 2006). Perubahan kumpulan diatom di perlapisan sedimen tersebut dapat menjadi cerminan kondisi lingkungan pada saat sedimen tersebut diendapkan. Hal ini berkaitan dengan dinding sel yang tersusun dari silika sehingga terawetkan dengan baik di dalam sedimen tanpa mengalami pembusukan.



Gambar 1. Konsepsi limnologi dalam skala temporer (modifikasi dari Anderson, 1995).

Diatom hidup pada kisaran kondisi optimal pertumbuhannya, sehingga perbedaan kumpulan diatom mencerminkan kondisi ekologis pada saat diatom tersebut hidup. Perubahan kondisi ekologis di masa lampau dapat diinfersikan dari perubahan kemelimpahan spesies diatom dalam inti sedimen, karena kondisi ekologi yang diperlukan untuk spesies indikator sudah diketahui dengan pasti. Spesies indikator yang sudah dikenal antara lain untuk mengindikasikan level danau, temperatur, konduktivitas, pH, dan nutrien seperti fosfor dan nitrogen (Juggins, 2003).

Variabel lingkungan sangat tergantung pada faktor primer seperti penguapan, sinar matahari, dan kekuatan angin; dan faktor sekunder seperti *upwelling* dan erosi. Jika diasumsikan bahwa laju deposisi pada inti sedimen adalah tetap, kedalaman inti sedimen analog dengan waktu sebelum sekarang. Ketika

diatom melimpah dan kemudian mati, skeletonnya akan mengendap pada dasar danau dan bersatu dengan sedimen. Valve atau skeleton diatom tersusun dari silika, sehingga dapat memfosil. Oleh karena itu, maka diatom dapat digunakan untuk rekonstruksi kondisi ekologis perairan di masa lampau dengan menganalisis perubahan diatom yang tersimpan dalam sedimen (Smol, 2008). Analisis diatom yang tersimpan dalam inti sedimen dilakukan dengan pemisahan diatom dari partikel sedimen, pembuatan preparat dan identifikasi-enumerasi (Battarbee *et al.*, 2001).

Menurut Smol (2008), pendekatan paleolimnologi untuk rekonstruksi lingkungan perairan oleh faktor antropogenik dapat dilakukan melalui 8 tahapan, yaitu:

1. penentuan lokasi penelitian berdasarkan permasalahan yang spesifik di lokasi tersebut;
2. penentuan lokasi pengambilan sampel (*coring*), yang harus merupakan representasi dari kondisi lingkungan;
3. pengambilan sampel sedimen pada lokasi terdalam dari danau yang mewakili profil perubahan danau;
4. sub-seksi sampel sedimen dengan interval tertentu untuk keperluan ekstraksi dan preparasi diatom;
5. *radioactive dating* profil sedimen untuk mengetahui kronologi pengendapan;
6. koleksi data berdasarkan identifikasi dan enumerasi diatom pada tiap lapisan sedimen dilakukan menggunakan mikroskop;
7. interpretasi data untuk pengkajian lingkungan; aplikasi model kalibrasi terhadap kondisi lingkungan sehingga diperoleh informasi kondisi lingkungan masa sekarang dan masa lampau;
8. presentasi data baik dari para ilmuwan, manajer, politikus, pengambil kebijakan, dan masyarakat umum yang tertarik dengan aplikasi paleolimnologi (Gambar 2; Smol, 2008).

Ada 3 pendekatan untuk rekonstruksi lingkungan secara kuantitatif yaitu spesies indikator, kumpulan atau analogi modern, dan fungsi transfer multivariat (Birk, 2005). Ketiganya memerlukan informasi tentang lingkungan modern dari

taksa yang ditemukan sebagai fosil. Hubungan organisme dengan lingkungan tidak berubah oleh waktu. *Weigthed Averaging(WA)* merupakan proses fungsi transfer untuk estimasi kualitas air berdasarkan kumpulan diatom (Koster *et al.*, 2004; Gell *et al.*, 2005). Secara prinsip takson tertentu akan melimpah pada kondisi optimum untuk perkembangannya. Nilai optimum suatu variabel lingkungan dihitung berdasarkan rerata konsentrasi tiap lokasi. Tiap nilai variabel di *weighted*-kan dengan kemelimpahan jenis diatom. Untuk estimasi konsentrasi variabel tertentu berdasarkan fosil kumpulan diatom diperlapisan sedimen, dilakukan infersi dari persamaan WA-nya.



Gambar 2. Pendekatan paleolimnologi untuk kajian rekonstruksi lingkungan perairan (Smol, 2008).

Diatom based inference model dilakukan untuk rekonstruksi konsentrasi total fosfor berdasarkan kumpulan fosil diatom. Hal ini dapat dilakukan dengan berbagai cara. Koster *et al.*(2004) menggunakan cara *Weighted Averaging partial*

least squares regression techniques. Selanjutnya dilakukan analogi untuk menghitung derajat kesamaan (analogi) antara diatom modern (model kalibrasi) dan diatom fosil (*core*). Sampel fosil dengan koefisien dissimilaritas kurang dari 75% merupakan analog yang bagus, antara 75 – 90% kurang bagus dan yang lebih besar dari 95% tidak ada analogi. Selanjutnya dilakukan *canonical correspondence analysis* untuk mengetahui ketepatan fosil dalam rekonstruksi variabel lingkungan (Pienitz *et al.*, 2006).

Penelitian ini bertujuan membandingkan hasil rekonstruksi dan prediksi kualitas air khususnya pH dan fosfat di Danau Rawapening yang dilakukan pada tahun 2008 dengan pH dan fosfat di tahun 2015. Danau Rawapening merupakan 1 dari 15 danau prioritas nasional 2010-2014 dan dijadikan *pilot project* dalam Gerakan Penyelamatan Danau (Germadan, KLH, 2011).

METODE

Pengambilan sampel air dilakukan di Danau Rawapening pada bulan Juni dan Agustus 2015 untuk analisis fosfat, total fosfor, total nitrogen, logam berat Cd, Cr, Cu, dan Pb. Pengukuran kualitas air secara *in-situ* di titik penelitian meliputi kandungan oksigen terlarut, pH, temperatur, turbiditas, konduktivitas, dan kecerahan air. Pengukuran maupun pengambilan sampel air dilakukan secara vertikal pada 20 cm dari permukaan, dasar perairan dan tengah. Data hasil analisis kualitas air khususnya pH dan fosfat pengambilan sampel bulan Juni dan Agustus 2015 dibandingkan dengan hasil rekonstruksi perubahan lingkungan yang pernah dilakukan dengan menggunakan data kualitas air tahun 2008 dan sebelumnya yang sudah dipublikasi dalam *American Journal of Environmental Science* 8 (3): 334-344. June 2012. DOI: 10.3844/Ajessp.2012.334.344: “The diatom stratigraphy of rawapening lake, implying eutrophication history”. Evaluasi dilakukan sebagai landasan dalam pengembangan pengelolaan Danau Rawapening.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengukuran pH tahun 2015 diperoleh hasil pH cenderung basa di lapisan permukaan air, namun di tengah dan dasar perairan pH cenderung lebih rendah (Tabel 1). Hal ini seperti prediksi yang dilakukan oleh Soeprobawati *et al.* (2012; Gambar 3), bahwa Danau Rawapening cenderung bersifat basa seiring bertambahnya waktu. Secara alami, danau cenderung semakin asam seiring pertambahan waktu. Namun, berdasarkan rekonstruksi yang dilakukan, terdapat kecenderungan kenaikan pH perairan Danau Rawapening. Hal ini diindikasikan dengan dominannya *Aulacoseira ambigua*, *A. granulata* dan *Synedra acus* di lapisan permukaan. Populasi *A. distans* menurun jika dibandingkan dengan zona di bawahnya. Hal ini mengindikasikan bahwa sejak tahun 1990 hingga 2008 pH Danau Rawapening bervariasi antara 6,5 – 9 (Seprobawati *et al.*, 2012). Hal ini dapat terjadi oleh 2 hal, yaitu dekomposisi bahan organik oleh mikroba di dasar danau atau berkaitan dengan pemanfaatan kapur untuk pembuatan pupuk organik dari eceng gondok. Ketika hujan turun, maka zat kapur tersebut akan tercuci dan masuk ke danau (Soeprobawati, 2015a).

Tabel 1. Kualitas air Danau Rawapening 15 Juni dan 12 Agustus 2015.

PARAMETER	Satuan	RAWA PENING																BAKU MUTU AIR (PP NO 82 TH 2001)							
		TUK BURKIT CINTA				MUARA TORONG/PANJAN				TENGAH DANAU				SEGALOK				MUARA ASINAN				Kelas I	Kelas II	Kelas III	Kelas IV
		20 cm	400 cm	800 cm	860 cm	20 cm	2 m	4 m	20 CM	433 cm	20 cm	160 cm	320 cm	20cm	135 cm	270 cm	20 cm	200 cm	400 cm						
Koordinat	LU BT	07°18'24.2"		07°17'78.5"		07°17'28.2"		07°17'83.09"		07°16'23.62"		07°18'24.2"		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
BT		110°25'29.7"		110°25'40.97"		110°25'47.7"		110°25'29.44"		110°26'11.30"		110°25'29.7"		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Phiscale Tuntang									460.95					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH		8.72	8.37	8.33	7.94	8.84	9.01	8.84	9.09	9.423333333	8.22	8.14	8.14	7.98	7.88	8.02	8.19	8.16	8.16	6-9	6-9	6-9	5,9		
Alkalinitas (HCO_3)	mg/L	52.65	53.29	55.86	61.00	53.68	57.95	59.48	48.16	51.37	56.43	47.58	48.8	79.30	79.3	85.4	69.54	67.1	66.49	-	-	-	-	-	
konduktivitas	mS/cm	0.26	0.26	0.27	0.27	0.19	0.20	0.19	0.246	0.341666667	0.1873333	0.188	0.198	0.18	0.21	0.2	0.18	0.201	0.20	-	-	-	-	-	
Temperatur	°C	28.33	26.90	26.87	26.47	28.40	24.03	28.13	30.70	27.73333333	28.866667	27.266667	27.1333333	28.63	28.1	28.4	27.67	28.63	28.10	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 5		
Kecerahan	m			0.7				0.5				0.78			0.74			0.85			-	-	-	-	-
Kedalaman	m							0.5				0.75			0.78			0.85			-	-	-	-	-
Timbal (Pb)	mg/L	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0.03	0.03	0.03	1		
Kadmium (Cd)	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0.01	0.01	0.01	0.01		
Cromium (Cr)	mg/L	0.303	<0,004	0.123	<0,004	0.078	0.123	0.303	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0.078	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0.05	0.05	0.05	1		
Tembaga (Cu)	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0.02	0.02	0.02	0.2		
Phosphate (PO_4)	mg/L	0.054	0.009	0.05	0.016	0.01	0.01	0.014	0.023	0.009	0.01	0.011	0.01	0.01	0.025	0.01	0.009	0.011	0.01	0.02	1	5			
Amonia (NH_4)	mg/L	1.22	1.77	4.01	2.01	0.14	0.37	0.09	1.98	10.41	0.5	0.34	2.8	2	0.19	2	0.23	0.24	0.24	0.5	-	-	-	-	
Nitrat (NO_3)	mg/L	3.26	3.22	6.28	3.54	1.11	1.99	3.86	4.04	8.58	1.1	1.2	2.83	1.11	2.83	2.11	1.2	1.99	1.1	10	10	20	20		
CaCO ₃	mg/L	21.85	30.84	21.42	25.7	17.64	17.99	23.13	13.86	19.28	16.38	16.71	24.42	16.71	16.71	16.71	16.71	20.16	16.38	-	-	-	-	-	
Nitrit (NO_2)	mg/L	0.08	0.45	0.31	0.14	10.81	6.65	4.02	0.05	0.75	0.08	10.81	5.21	0.16	1.04	12.18	6.01	1.75	1.7	0.06	0.06	0.06	-	-	
Total P	mg/L	0.047	0.084	0.093	0.11	0.021	0.017	0.023	0.038	0.054	0.182	0.179	0.185	0.55	0.051	0.055	0.025	0.032	0.028	-	-	-	-	-	
Total N	mg/L	8.65	8.38	17.6	11.01	5.3	12.8	11.76	9.29	23.94	5.45	16.13	18.4	5.35	11.61	20.07	11.22	7.76	6.82	-	-	-	-	-	
Turbiditas	NTU	52	34.00	38.00	380.67	58.67	43	146	90.3333	KERUH - 10	48.67	43.00	30.3333333	76.66667	45	63.3333	38.33	41.33	38	-	-	-	-	-	
Oksigen terlarut (DO)	mg/L	2.45	1.36	1.16	2.22	2.09	1.29	0.95	1.54	1.46	0.17	0.35	0	2.08	2.08	2.06	2.08	2.17	2.09	6	4	3	0		
BOD ₅	mg/L	8.34	11.94	8.21	23.64	8.93	6.57	6.67	14.25	15.41	11.40	12.33	18.91	8.93	18.91	9.55	12.33	6.57	11.40	-	-	-	-	-	
Total Solid	mg/L	219.02	167.02	697.47	339.58	106.60	123.20	90.58	217.10	864.06	122.62	130.37	1395.46	106.60	1414.46	116.75	132.37	117.2	122.62	-	-	-	-	-	
Residu terlarut	mg/L	178.00	126.00	125.00	121.00	102.00	108.00	73.00	176.00	160.00	101.00	100.00	83	102.00	102	102	102	101	-	-	-	-	-		
Residu tersuspensi	mg/L	38.54	38.54	543.75	212.5	3.16	13.68	15.56	38.54	684.38	20	29.47	1305.26	3.16	1305.26	12.63	29.47	13.68	20	2	3	6	12		

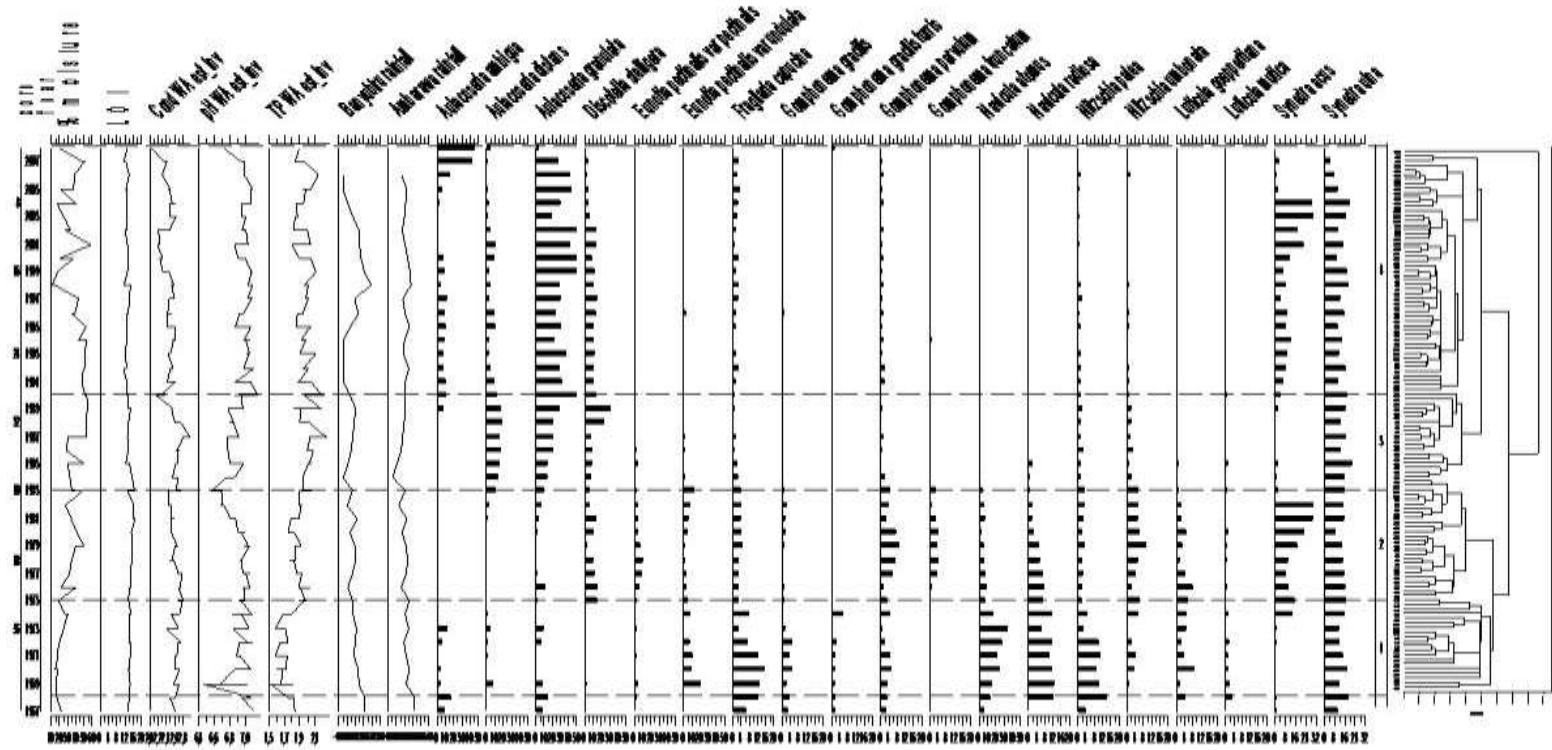
Baku Mutu Air Permukaan:

Kelas I : air baku air minum

Kelas II : air baku sarana rekreasi, peternakan, pembudidayaan ikan air tawar dan pertamanan

Kelas III : air baku peternakan, pembudidayaan ikan air tawar dan pertamanan

Kelas IV: air baku untuk mengairi pertamanan



Gambar 3. Biostratigrafi diatom dan rekonstruksi pH, dan fosfat Danau Rawapening (Soeprabowati *et al.*, 2012).

pH perairan sangat penting dalam mendukung proses fisiologis organism, demikian halnya dalam proses kimiawi toksitas logam berat. Pada penelitiannya di tahun 1979, Goltenboth menyampaikan bahwa pH berkisar antara 7,2 – 7,6. Pada tahun 1999 Badan Pengendalian Dampak Lingkungan – Pusat Penelitian Lingkungan Hidup UNDIP mendapatkan pH berkisar antara 7,5 – 8,8. Pada penelitiannya di tahun 2003, Wibowo (2004) mendapatkan pH berkisar antara 6,5 – 7,7. Pada penelitian di tahun 2004 dan 2005 ini pH di sungai (inlet) dan Danau Rawapening cenderung netral, kecuali di sumber mata air Bukit Cinta dan pulau terapung dengan pH tertinggi 9,52 di sumber mata air (Soeprobawati *et al.*, 2005).

Tabel 2. pH Danau Rawapening tahun 2008 dan 2015.

Waktu	1-Feb-08 ^{*)}				15 Juni dan 12 Agustus 2015
	Lokasi	20 cm	20 cm	100 cm	
Asinan	4,98	7,98	7,88	8,02	
Panjang/Torong	4,06	8,84	9,01	8,84	
Tuntang	4,63	8,19	8,16	8,16	
Dangkel/Segalok	10,13	8,22	8,14	8,14	

^{*)}Soeprobawati *et al.* (2012).

Berdasarkan status trofik, Danau Rawapening saat ini termasuk kategori **eutrofik - hipereutrofik**, yang berarti sangat kaya akan nutrient, dengan kandungan Total Nitrogen (TN) > 1,9 mg/L dan Total Fosfor (TP)> 0,1 mg/L (Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 28 tahun 2009 tentang Daya tampung beban pencemaran air danau dan/atau waduk). Pada survey yang dilakukan Juni dan Agustus 2015, diperoleh konsentrasi TP yang berkisar antara 0,038 – 0,17 mg/L, yang berarti kategori eutrofik – hipereutrofik (Tabel 1 dan 3). Kondisi inilah yang menyebabkan pertumbuhan tidak terkontrol (*blooming*) dari tumbuhan air seperti eceng gondok, Hydrilla, dan Salvinia. Eutrofikasi adalah proses pengkayaan badan air khususnya oleh nitrogen dan fosfor yang memicu pertumbuhan tidak terkontrol dari tumbuhan air. Eutrofikasi merupakan problem banyak danau di Indonesia. Hal ini berkaitan dengan cukupnya sinar matahari, dan banyaknya nutrient nitrogen dan fosfor yang berasal dari pertanian, peternakan, industri maupun rumah tangga.

Tabel 3. Fosfat Danau Rawapening 2008 dan 2015.

Waktu	22 Okt 2008 ^{*)}				15 Juni dan 12 Agustus 2015			
	Lokasi	20 cm	20 cm	100 cm	>200 cm			
Asinan		0,84	0,01	0,01	0,025			
Panjang/Torong		0,25	0,01	0,01	0,01			
Tuntang		na	0,009	0,009	0,011			
Segalok		0,48	0,009	0,001	0,011			

^{*)}Soeprobawati *et al.* (2012).

Fosfor diperlukan organisme untuk transfer energi dalam sel. Di perairan fosfor ditemukan dalam bentuk senyawa anorganik terlarut (ortofosfat dan polifosfat) dan senyawa partikulat organik. Pada kondisi aerob, fosfor membentuk kompleks dengan ion besi dan kalsium, bersifat tidak larut dan mengendap pada sedimen sehingga tidak dapat dimanfaatkan oleh organisme (Jefries & Mills, 1996). Di danau bentuk unsur fosfor berubah terus menerus sebagai akibat proses dekomposisi dan sintesis bentuk organik dan anorganik.

Tingginya kandungan fosfor perairan disertai dengan keberadaan nitrogen dapat memicu terjadinya *blooming* tumbuhan air, sehingga dapat menghambat penetrasi oksigen dan sinar matahari. Tahun 1976 kadar ortofosfat Danau Rawapening 0,003 – 0,6 mg/L sehingga di sebagian lokasi bersifat oligotrofik namun di lokasi lainnya bersifat eutrofik.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya, maka ada kecenderungan kenaikan konsentrasi nitrogen dan fosfor perairan (Gambar 1). Inilah yang merupakan akar permasalahan dari *blooming* eceng gondok yang terjadi di Danau Rawapening. Berdasarkan rekonstruksi perubahan lingkungan yang dilakukan oleh Soeprobawati *et al.* (2012), maka kondisi eutrofik dari Danau Rawapening sudah terjadi sejak tahun 1970-an, dimana program intensifikasi pertanian, salah satunya penggunaan pupuk mulai marak dilakukan. Namun semakin meningkat dan berkembangnya peternakan di daerah hulu sungai berkontribusi sangat besar atas naiknya nitrogen ke perairan.

Untuk Danau Rawapening, *blooming* eceng gondok yang terjadi sekarang sudah lebih dari 70% sehingga memicu pendangkalan danau (Soeprobawati,

2012, 2015a), karena sistem perakaran eceng gondok memungkinkan *trapping* sedimen yang tinggi. Adanya erosi yang tinggi yang masuk ke danau dari perbukitan sekitar danau dengan kemiringan hampir 45^0 akan terikat dalam perakaran eceng gondok, sehingga mempercepat pendangkalan danau. Diprediksi bahwa Danau Rawapening akan menjadi daratan pada tahun 2021 (Bappeda Kab Semarang, 2000).

Oleh karena itu, guna mengatasi problem eceng gondok, maka masuknya nutrien khususnya nitrogen dan fosfor ke perairan harus dikurangi guna menurunkan eutrofikasi. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat instalasi pengolah limbah di hilir sungai sebelum masuk ke danau.

Sesuai dengan indikator capaian dalam Gerakan penyelamatan Danau (GERMADAN) Rawapening, maka pemanenan eceng gondok tidak perlu sampai habis, disisakan 20% (KLH, 2011) untuk menjaga agar ekosistem tetap stabil dan masyarakat tetap dapat memanen eceng gondok untuk keperluan pembuatan souvenir, pupuk, maupun pakan ternak. Guna mengatasi problem eceng gondok tersebut, maka perlu dilakukan pemanenan massal eceng gondok hingga 50%, sehingga 20% eceng gondok yang disisakan dapat dijadikan ***green belt (sabuk hijau)*** agar ekosistem danau tetap stabil dan masyarakat setempat dapat tetap memanen eceng gondok untuk keperluan pembuatan souvenir, pupuk maupun pakan ternak. Apabila luas eceng gondok 2670 Ha, maka eceng gondok yang harus dipanen sebesar 1.335 Ha. Namun, yang menjadi *bottle neck* dari pengelolaan Danau Rawapening adalah belum kuatnya komitmen seluruh pihak, pendanaan yang terpisah pisah antar SKPD dan pelaksanaan kegiatan pengelolaan danau yang berjalan sendiri-sendiri tanpa koordinasi (Soeprobawati, 2015b).

Di Danau Rawapening, terdapat 738 unit karamba yang menempati area 2,21 Ha dengan produksi ikan 872,6 ton/tahun dan menjadi sumber penghidupan bagi 1.388 nelayan (Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Semarang, 2007). Pada tahun 2010, berdasarkan pendataan yang dilakukan secara langsung diperoleh jumlah karamba meningkat menjadi 1.249 terdiri dari 654 karamba tancap dan 595 karamba jaring apung yang menempati area seluas 3,78 Ha (Soeprobawati, 2012).

Tabel 4. Jumlah karamba, luas dan pakan yang diberikan/bulan di Danau Rawapening (Soeprobawati, 2012).

Sub zona	Kecamatan	tancap (unit)			apung (unit)			Luas (Ha)
		tancap	luas (Ha)	pakan (kg/bln)	Apung	luas (Ha)	pakan (kg)/bln	maksimal (*)
budidaya								
Tuntang	Tuntang	320	0,80	9.600	-	-	-	4.5
Sumurup	Bawen	154	0,385	4.620	4	0,0144	150	1.5
Nglonder	Ambarawa	180	0,45	5.400	174	0,6264	2.610	3
Serondo								
Puteran	Banyubiru	-	-	-	417	1,5012	6.255	6
Sumenep		-	-	-				
Muncul		-	-	-				
Talang		-	-	-				
Alit		-	-	-				
Segalok		-	-	-				
Jumlah		654	1,635	19.620	595	2,142	9.015	15

* Perda No 25 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Sumberdaya ikan di Rawapening.

Meskipun ada kecenderungan bertambahnya jumlah karamba di danau Rawapening, namun produktivitas perikanannya fluktuatif dan cenderung menurun. Hal ini berkaitan dengan eutrofikasi yang telah lama terjadi di Danau Rawapening. Luas karamba di Danau Rawapening memang masih di bawah 15 Ha, seperti yang tertulang dalam Perda No 25 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Sumber Daya Ikan di Rawapening. Umumnya pembatasan luasan karamba di danau atau waduk yang ditetapkan pemerintah yaitu sebesar 1% sampai 2% tergantung pada ketentuan pemerintah daerah setempat, namun berdasarkan hasil penelitian ini diketahui bahwa ketentuan pembatasan luasan karamba tersebut sudah tidak sesuai lagi apabila diterapkan di danau-danau yang sudah mengalami masalah eutrofikasi yang cukup parah terutama di Danau Rawapening. Hal tersebut juga menunjukkan bahwa ketentuan penetapan luasan maksimum karamba di danau atau waduk akan terus menurun setiap tahunnya seiring dengan proses pertambahan unsur hara perairan terutama unsur fosfor yang mengakibatkan eutrofikasi. Salah satu solusi alternatif untuk mengurangi masuknya beban pencemar fosfor ke perairan adalah dengan pembatasan jumlah

produksi perikanan per unit karamba, serta pemberian pakan yang seefisien mungkin karena tanpa pemberian pakan buatan (pellet) yang berlebihan, ikan masih mendapatkan pakan alami yaitu plankton, baik fitoplankton maupun zooplankton, karena ketersediaannya sangat melimpah di perairan Rawapening. Hal tersebut juga didasarkan pada jenis ikan yang dibudidayakan pada karamba karamba di Danau Rawapening yang umumnya memelihara ikan nila. Ikan nila merupakan jenis ikan herbivora yang juga dapat memakan fitoplankton serta daun tanaman air yang tipis.

Berdasarkan fakta ini maka Perda No 25 Tahun 2001 ini perlu ditinjau dan dikaji ulang secara ilmiah terkait dengan luasan maksimal karamba. Hal ini juga didasarkan pada fakta ilmiah hasil penelitian yang menunjukkan bahwa jumlah karamba saat ini (452 unit) telah melebihi kriteria daya tampung beban pencemaran fosfor, sehingga perlu ada tindakan pencegahan untuk mengurangi dampak eutrofikasi. Daya tampung beban pencemaran fosfor menunjukkan jumlah konsentrasi unsur fosfor maksimum yang mampu ditampung oleh Danau Rawapening berdasarkan morfologi dan hidrologi danau selama kondisinya belum berubah. Daya tampung beban pencemaran fosfor Danau Rawapening pada penelitian ini sesuai dengan hasil perhitungan rumus daya tampung beban pencemaran air danau menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009.

Berdasarkan perhitungan daya tampung beban pencemaran fosfor dalam Permen LH No.28 Tahun 2009, maka daya tampung beban pencemaran fosfor Danau Rawapening tahun 2012 adalah sebesar $6,93 \times 10^6$ g/th dengan jumlah unit karamba ideal 145 unit atau luasan 20.880 m^2 (Samudra *et al.*, 2013; 0,13% dari luas danau). Dengan catatan 1 unit = 4 petak, ukuran umum 6x6 m. Dengan demikian maka harus dilakukan pengurangan 2/3 dari jumlah karamba yang ada.

Berdasarkan data Soeprobawati (2012), luas karamba yang terdapat pada Danau Rawapening adalah 3,8 Ha. Luas karamba ini masih di bawah kapasitas maksimal danau dalam mendukung perikanan yaitu seluas 15 Ha (Perda No 25 Tahun 2001) tentang Pengelolaan Sumberdaya ikan di Rawapening. Kegiatan budidaya ikan di Danau Rawapening hanya dapat dilakukan di zona budidaya.

Terdapat 10 sub zona budidaya yang diperbolehkan untuk kegiatan karamba Rawapening seluas 15 Ha.

Terdapat fluktuasi produksi perikanan Danau Rawapening. Pengaruh perikanan di Danau Rawapening terlihat sangat nyata terhadap kualitas air danau karena penempatan karamba baik tancap maupun jaring apung yang hanya terkumpul pada lokasi tertentu seperti Tuntang, Asinan, Kejalen dan Bukit Cinta. Arahan Pemerintah Kabupaten Semarang, kultur jaring apung ikan di Danau Rawapening terletak pada zona pemancingan, 3 Ha di sub zona Putera (Banyubiru) dan 1,5 serta 3 Ha di dekat sub zona Cobening (Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Semarang, 2007).

Berdasarkan kualitas air Danau Rawapening, maka permasalahan utama adalah eutrofikasi, yang berdampak pada blooming eceng gondok, sehingga pemecahannya adalah dengan menurunkan kandungan nitrogen dan fosfor. Rekomendasi yang diusulkan adalah:

1. Pembuatan instalasi pengolah limbah di hilir sungai sebelum masuk ke danau untuk menurunkan konsentrasi nitrogen dan fosfor
2. Menurunkan jumlah karamba sesuai dengan daya tampung beban pencemaran fosfor menjadi 145 unit dengan pemberian pakan seefisien mungkin
3. pembuatan zonasi pemanfaatan danau, yaitu:
 - zona eceng gondok, di daerah dimana eceng gondok sudah permanen, dan dipagar semi permamen agar eceng gondok tidak hanyut terbawa arus
 - zona perikanan karamba, di daerah dengan kedalaman perairan yang relatif dalam sehingga waktunya retensi relative lebih lama
 - zona perairan bebas, di daerah dengan kedalaman perairan relative dalam.

Zonasi ini juga berkaitan dengan pengembangan ekowisata Danau Rawapening, sehingga secara ekologis, danau tetap stabil ekosistemnya.

KESIMPULAN

Analisis paleolimnologi khususnya dalam rekonstruksi perubahan kualitas air di masa lampau dan prediksi perubahannya di masa mendatang terbukti kehandalannya khususnya dalam rekonstruksi dan prediksi pH dan fosfat perairan. Tren kenaikan pH danau Rawapening seiring pertambahan waktu terbukti dengan

pH pada tahun 2015 dibandingkan tahun 2008. Demikian halnya fosfat. Oleh karena itu, maka pengelolaan yang harus dikembangkan di Danau Rawapening adalah dengan pembuatan kolam instalasi pengolah limbah di daerah inlet untuk menurunkan konsentrasi nutrient sebelum masuk danau sehingga problem eceng gondok dapat teratasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dana penelitian Hibah Kompetensi Tahun Anggaran 2015 dengan Surat Penugasan Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Diponegoro No 147-10/UN7.5.1/PG/2015. Terima kasih kepada Hadi Al Amin, Wildan, Risky Amaliah, Siti Mudakiroh yang telah membantu dalam sampling dan lab work.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, N.J. 1995. Using the past to predict the future: lake sediments and the modelling of limnological disturbance. *Ecological Modelling* **78**: 149-172.
- Bapedalda (Badan Pengendalian Dampak Lingkungan) – PPLH Undip (Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Universitas Diponegoro, 1999. Pengembangan Indeks Mutu Lingkungan dan Indikator Biologi. Lembaga Penelitian Undip, Semarang.
- Bappeda Propinsi Jawa Tengah, 2000. Penyusunan rencana pengelolaan kawasan Rawapening Propinsi Jawa Tengah. BAPPEDA JATENG – Pusat Penelitian Perencanaan Pembangunan Nasional, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Battarbee, R., Jones, V.J., Flower, R.J., Cameron, N.G., Bennion, H., Carvalo, L., and Juggins, S. 2001. Diatoms. In. J.P. Smol, H.J.B. Birks, and W.M. Last (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. Volume 3: *terrestrial, Algal, and Silicious Indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp. 155-202.
- Birks, H.J.B., 2005. Quantitative Paleoenvironmental Reconstructions From Holocene Biological Data. In Mackay, A.; Battarbee, R.; Birks, J. And Oldfield, F. Holder& Arnold(Eds). *Global Change In The Holocene*. New York.

- Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Semarang. 2007. Kajian potensi sumber daya perikanan Rawapening Kabupaten Semarang 2007. Laporan Akhir. PT. Astri Bumi Semarang.
- Gell, P.; J. Tibby; J. Fluin; P. Leahy; M. Reid; K. Adamson; S. Bulpin; A. Macgregor; P. Wallbrink; G. Hancock; And B. Walsh., 2005. Accesing Limnological Change And Variability Using Fossil Diatom Assemblages, South-East Australia. *River Res. Applic* **21**: 257-269.
- Goltenboth, F. and K.H. Timotius. 1994. Danau Rawapening di Jawa Tengah, Indonesia. Satya Wacana University Press, Salatiga.
- Henanusa, P.E. dan Haryani, G.S. 2009. Klasifikasi morfogenesis danau di Indonesia untuk mitigasi dampak perubahan iklim. Makalah disampaikan dalam Konferensi Nasional Danau Indonesia I, Sanur-Denpasar-Bali, 13-15 Agustus 2009.
- Jeffries, M. and Mills, D. 1996. Freshwater ecology, principles, and applications. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- John, J., 2000. A Guide To Diatoms As Indicators Of Urban Stream Health LWRRDC Occasional Paper 14/99 (Urban Sub Program, Report No.7).
- Juggins, S. 2003. User Guide C2. Software For Ecological And Palaeontological Data Analysis And Visualisation. User Guide Version 1.6. University Of New Castle, New Castle Upon Tyle.
- KLH (Kementerian Lingkungan Hidup). 2011. Gerakan Penyelamatan Danau (GERMADAN) Rawapening.KLH RI Jakarta.
- Koster, D.; J.M. Racca; and R. Pienitz. 2004. Diatom-based inference models and reconstructions revisited: methods and transformation. *Journal of Paleolimnology* **32**: 233 – 246.
- Mann, D.G., 1999. The Species Concept In Diatoms. *Phycologia* **38** (6): 437-495.
- Mann, D.G. 2010. Diatoms. Version 07 February 2010 (under construction).<http://tolweb.org/Diatoms/21810/2010.02.07> in The Tree of Life Web Project, <http://tolweb.org/>
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 28 tahun 2009 tentang Daya tampung beban pencemaran air danau dan/atau waduk
- Pienitz, R.; K. Robergem; And W.F. Vincent., 2006. Three Hundred Years Of Human-Induced Change In An Urban Lake: Paleolimnological Analysis Of Lac Saint-Augustin, Quebec City, Canada. *Canadian J. Of Botany* **84**: 303-320.
- Reid, M. 2005 Diatom-Based Models For Reconstructing Past Water Quality And Productivity In New Zealand Lakes. *J Paleolimnol* **33**: 13–38
- Round, F.E; R.M. Crawford; and D.G. Mann. 2000. The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera. 2^{ed}. Cambridge University Press, UK.

- Samudra, S.R.; Soeprobawati, T.R. Dan M.Izzati, 2013. Daya Tampung Beban Pencemaran Fosfor Untuk Budidaya Perikanan Danau Rawapening. Prosiding Workshop Penyelamatan Danau Rawapening, Kementerian Lingkungan Hidup Ri, Jakarta.
- Smol, J.P., 2008. Pollution Of Lakes And Rivers A Paleoenvironmental Perspective. 2nd Ed. Blackwell Publishing, USA.
- Soeprobawati, T.R. 2012. Mitigasi danau eutrofik: studi kasus Danau Rawapening. Porisidng Seminar Nasional Limnologi VI tahun 2012: 36-48).
- Soeprobawati, T.R. 2015a. Bioindikator kualitas air. Seminar Nasional Biologi Undip, 6 Agustus 2015.
- Soeprobawati, T.R. 2015b. Integrated lake basin management for save Indonesia lake movement. Procedia Environmental Sciences 23 (2015) 368 – 374
- Soeprobawati, T.R.; S. Hadisusanto, and P. Gell. 2012. The diatom stratigraphy of Rawapening Lake, Implying Eutrophication History. *Am J Env Sci* 2012; 8 (3): 334-344.
- Soeprobawati, T.R; W.A. Rahmanto; J.W. Hidayat; and K. Baskoro. 2005. Diatoms and present Condition of Rawapening Lake. *International Seminar on Environmental Chemistry and Toxicology*, April 2005, INJECT Yogyakarta.
- Wetzel, R.G. 2001. Limnology, Lake and River Ecosystems. 3rded. Academic Press, NY.
- Wibowo, H. 2004. Tingkat eutrofikasi Rawapening dalam kerangka kajian produktivitas primer plankton. *Thesis Magister Ilmu Lingkungan*. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang.