

MODEL SPASIAL TINGKAT KESUBURAN PERAIRAN DI DANAU BATUR KABUPATEN BANGLI PROVINSI BALI DENGAN APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

I Nyoman Radiarta^{*)} dan Sophia Lasma Sagala^{**)}

^{*)} Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya
Jl. Ragunan 20, Pasar Minggu, Jakarta Selatan 12540
E-mail: radiarta@yahoo.com

^{**)} Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Budidaya Laut
Jl. Br. Gondol Kec. Gerokgak Kab. Buleleng, Kotak Pos 140, Singaraja, Bali 81101

(Naskah diterima: 16 Februari 2012; Disetujui publikasi: 8 Agustus 2012)

ABSTRAK

Danau Batur telah ditetapkan oleh Pemerintah Daerah Bangli sebagai kawasan pengembangan minapolitan dengan komoditas pengembangan adalah ikan nila menggunakan keramba jaring apung. Penelitian ini, bertujuan untuk melakukan analisis spasial tingkat kesuburan (eutropikasi) perairan di Danau Batur Kabupaten Bangli Provinsi Bali. Pengumpulan data lapangan dilakukan pada bulan Agustus 2011. Sebanyak lima titik pengamatan disebar secara acak di danau sehingga dapat mewakili karakteristik danau. Parameter kualitas perairan yang dikumpulkan meliputi kecerahan, total nitrogen, total fosfat, dan klorofil-a. Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis berdasarkan indeks tingkat tropik dan ditampilkan secara spasial dengan menggunakan sistem informasi geografis. Hasil analisis indeks tingkat tropik menunjukkan bahwa Danau Batur sudah tergolong eutropik dengan nilai indeks berkisar antara 4,2-5,0. Nilai indeks terbesar ditemukan di perairan dekat Desa Kedisan, sedangkan nilai terkecil di sekitar perairan Desa Truyan. Kondisi ini perlu menjadi perhatian dalam rangka pengelolaan dan pemanfaatan danau, khususnya untuk mendukung pengembangan wilayah minapolitan.

KATA KUNCI: tingkat tropik, keramba jaring apung, nila, kualitas air, Danau Batur, Bangli

ABSTRACT: *Spatial model of trophic level in Batur Lake Bangli District Bali Province using the application of geographic information system. By: I Nyoman Radiarta and Sophia Lasma Sagala*

Batur Lake has been selected as minapolitan development area for Nile tilapia using floating net cage by local government of Bangli District. The aim of this study was to develop a spatial model of trophic level in Batur Lake Bangli District Bali Province. Field observation was conducted in August 2011. A total of five sampling points was randomly distributed so that it can represent a characteristic of the lake. Four important water quality parameters were collected such as secchi disk depth, total nitrogen, total phosphorus, and chlorophyll-a. All the parameters were analyzed spatially based on trophic level index and geographic information system. The result shows that Batur Lake had categorized as eutrophic lake with 4.2-5.0 range of trophic level index. The highest index was observed in the area around the Kedisan Sub-district, while the lowest was found in the area around the Truyan Sub-district.

Eutrophication condition of the lake needs to be considered in order to support management and utilization of the lake, especially for minapolitan development area.

KEYWORDS: *trophic level, floating net cage, nile tilapia, water quality, Batur Lake, Bangli*

PENDAHULUAN

Danau dan waduk merupakan potensi perairan umum yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas di antaranya untuk pengembangan budidaya ikan air tawar. Jumlah danau dan waduk di Indonesia sekitar 76 buah dengan total luasan mencapai 639.918 ha, merupakan potensi yang sangat besar untuk dikembangkan (Anonim, 2011). Berdasarkan data statistik kelautan dan perikanan, potensi perikanan budidaya di perairan umum yang ada di Indonesia mencapai 158.125 ha, namun pemanfaatan potensi lahan tersebut baru mencapai 1.390 ha (Anonim, 2011). Komoditas yang umum dibudidayakan meliputi ikan nila dan mas. Provinsi Bali memiliki empat danau yaitu: Danau Batur, Buyan, Bratan, dan Tamblingan. Dari keempat danau tersebut, Danau Batur merupakan danau terluas yang terletak di Kabupaten Bangli. Danau ini merupakan danau kaldera dari Gunung Batur yang masih aktif. Danau Batur telah dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar danau untuk menunjang perekonomian meliputi pertanian/perkebunan, pariwisata, dan perikanan. Perikanan budidaya yang berkembang di Danau Batur adalah budidaya ikan nila dengan menggunakan keramba jaring apung (KJA). Luasan area yang dimanfaatkan mengalami peningkatan dari 6,2 ha di tahun 2005 menjadi 8,11 ha tahun 2010; dengan jumlah produksi mencapai 189,15 ton pada tahun 2010 (Anonim, 2010). Peningkatan produksi ini akan terus dipacu, sesuai dengan penetapan Danau Batur sebagai kawasan minapolitan budidaya ikan air tawar dengan komoditas pengembangannya adalah ikan nila.

Seperti kawasan danau dan waduk yang lain, pembangunan infrastruktur dan pemanfaatan perairan danau untuk kegiatan perikanan seringkali mempengaruhi kelangsungan dan kelestarian perairan danau. Untuk mendukung pengelolaan danau yang berwawasan lingkungan, maka diperlukan pengelolaan yang terpadu dengan melibatkan seluruh *stakeholder* agar fungsi danau tetap terjaga dan danau tetap lestari. Untuk mencapai

sasaran tersebut, maka pengelolaan danau harus mencakup beberapa aspek di antaranya: lingkungan perairan, teknologi budidaya, sosial, dan kelembagaan. Dari aspek lingkungan perairan, kondisi tingkat kesuburan (eutropikasi) suatu kawasan danau merupakan faktor penting yang harus diperhatikan. *Monitoring* secara berkala kondisi kualitas perairan sangat diperlukan demi mendukung pengelolaan dan manajemen danau yang berwawasan lingkungan. Peningkatan unsur hara dalam perairan danau dapat menyebabkan perairan menjadi subur. Proses ini disebut "kesuburan" atau eutropikasi, yang dapat terjadi secara alami dari dalam perairan itu sendiri ataupun karena dampak dari luar perairan (aktivitas manusia). Pada kondisi yang ekstrim, eutropikasi ini dapat merugikan karena dapat menstimulasi pertumbuhan alga yang dapat menutup permukaan perairan sehingga akhirnya mengganggu sistem ekologi perairan. Tingkat kesuburan (eutropikasi) perairan danau dapat dianalisis berdasarkan nilai indeks dari suatu tingkat tropik (Carlson, 1977; Burns *et al.*, 2000; Pavluk & Vaate, 2008). Nilai indeks dengan berbagai variasi kisaran nilai, umumnya sangat berhubungan erat dengan kondisi kualitas perairan, karena parameter yang digunakan untuk menghitung nilai indeks ini dapat merefleksikan kondisi dinamik dari suatu perairan (Drake *et al.*, 2011). Parameter yang digunakan untuk menganalisis tingkat tropik terdiri atas beberapa parameter fisik, kimia, dan biologi, contoh indeks status tropik/indeks Carlson's (Carlson, 1977) atau indeks tingkat tropik (Burns *et al.*, 2000).

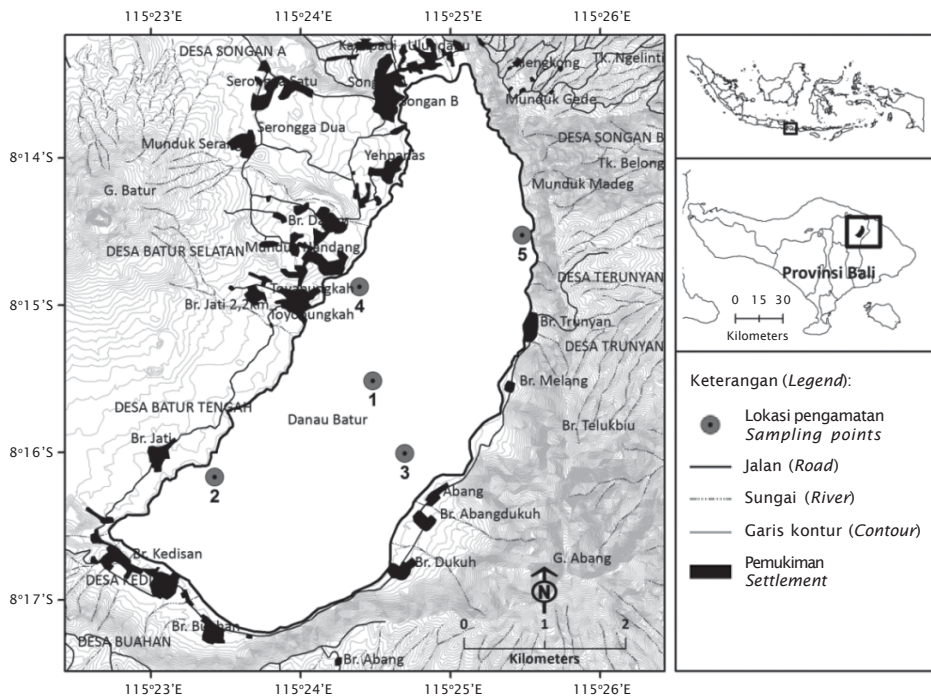
Sistem informasi geografis (SIG) telah banyak dimanfaatkan untuk berbagai bidang kajian. Analisis dengan SIG ini selain dapat memberikan tampilan secara utuh dalam suatu kawasan, juga pembaharuan analisis dapat dengan mudah dilakukan jika tersedianya data terkini (Johnston, 1998). Untuk bidang sumber daya perikanan budidaya, SIG dapat digunakan untuk menganalisis zonasi peruntukan lahan, kajian kondisi lingkungan perairan, perencanaan pengembangan perikanan budidaya, *monitoring* dan inventarisasi perikanan

budidaya, dan pemetaan pemanfaatan lahan pesisir (Nath *et al.*, 2000; Kapetsky & Anguilar-Manjarrez, 2007). Contoh aplikasi SIG untuk *monitoring* dan inventarisasi perikanan budidaya yang berkaitan dengan pengelolaan dan manajemen danau/waduk adalah pemetaan keramba jaring apung (KJA) di Waduk Cirata (Radiarta *et al.*, 2005; Radiarta & Adri, 2009). Aplikasi SIG untuk penelitian eutropikasi danau belum banyak dimanfaatkan di Indonesia. Analisis yang umumnya digunakan adalah berdasarkan perhitungan numerik (Suryono *et al.*, 2008) ataupun multivariat statistik (Sulastri *et al.*, 2010).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis secara spasial tingkat eutropikasi perairan di Danau Batur Kabupaten Bangli. Tingkat eutropikasi perairan dianalisis berdasarkan indeks tingkat tropik dengan memperhatikan empat parameter utama yaitu: kecerahan, total nitrogen, total fosfat, dan klorofil-a. Distribusi spasial tingkat kesuburan kemudian dianalisis dengan menggunakan SIG.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini telah dilakukan di Danau Batur Kabupaten Bangli Provinsi Bali (Gambar 1). Danau Batur yang terletak pada posisi 8°13'–8°18' Lintang Selatan dan 115°22'–115°26' Bujur Timur merupakan danau kaldera aktif terbentuk dari proses vulkanisme Gunung Batur. Berada pada ketinggian 1.080 m di atas permukaan laut, danau ini memiliki luas permukaan sekitar 1.607 ha dengan panjang garis pantai 21 km. Kawasan sekitar danau telah lama dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian sayuran. Sedangkan kawasan dalam danau, kegiatan budidaya dengan KJA telah berkembang, dan menyebar di sepanjang pinggir danau. Komoditas perikanan yang telah dikembangkan adalah ikan nila. Menurut Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Bappeda Kabupaten Bangli 2010-2015, pengembangan budidaya perikanan di kawasan danau diarahkan maksimal 5%-10% dari luas perairan danau (Anonim, 2010). Selain itu, kegiatan pariwisata juga telah berkembang pesat di kawasan danau.



Gambar 1. Karakteristik lokasi penelitian dan distribusi lokasi titik pengamatan kualitas perairan di Danau Batur Kabupaten Bangli

Figure 1. Characteristic of the study area and distribution of water quality sampling points in Batur Lake Bangli District

Pengumpulan data lapangan telah dilakukan pada bulan Agustus 2011. Lokasi pengamatan kualitas perairan disebar secara acak sehingga dapat mewakili karakteristik danau yang disurvei. Sebanyak lima titik pengamatan kualitas air berhasil dikumpulkan (Gambar 1). Pengambilan contoh air dilakukan pada kedalaman <0,5 m (permukaan). Metode pengambilan, preservasi, dan analisis contoh air mengacu pada metode standar (APHA, 2005). Data yang dikumpulkan meliputi: parameter fisik (kedalaman dan kecerahan), kimia (total nitrogen dan total fosfat), dan kesuburan perairan (konsentrasi klorofil-a). Posisi geografis dari lokasi pengamatan diperoleh dengan menggunakan *global positioning system* (GPS).

Analisis kondisi tingkat tropik dari suatu perairan dapat dilakukan dengan menghitung berbagai jenis indeks (Carlson, 1977; Pavluk & Vaate, 2008). Satu pendekatan indeks yang dapat digunakan untuk menganalisis tingkat tropik dari suatu danau yaitu indeks tingkat tropik (Burns *et al.*, 2000; <http://old.boprc.govt.nz/Environment/Trophic-Level-Index.aspx>). Indeks tingkat tropik (*trophic level index* / TLI) merupakan indikator untuk kualitas perairan danau. Untuk menghitung TLI ada empat parameter yang diperhatikan yaitu: total nitrogen (mg/m³), total fosfat (mg/m³),

kecerahan (m), dan korofil-a (mg/m³). Tingkat tropik untuk masing-masing parameter dan TLI dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Burns *et al.*, 2000; Pavluk & Vaate, 2008):

$$\begin{aligned}
 TL_{nitrogen} &= -3,61 + 3,01 \log (N_{total}) \\
 TL_{phosphorus} &= 0,218 + 2,92 \log (P_{total}) \\
 TL_{transparency} &= 5,10 + 2,27 \log (1/secchi\ disk\ depth - 1/40) \\
 TL_{chlorophyll} &= 2,22 + 2,54 \log (chlorophyll) \\
 TLI &= (TL_{nitrogen} + TL_{phosphorus} + TL_{transparency} + TL_{chlorophyll}) / 4
 \end{aligned}$$

Nilai perhitungan TLI diklasifikasikan menjadi tujuh kelas mulai dari <1 (*ultra microtrophic*) sampai >6 (*hypertrophic*). Kisaran nilai masing-masing parameter dan TLI yang dihubungkan dengan tingkat tropik disajikan pada Tabel 1. Kisaran nilai tersebut mengacu pada Burns *et al.* (2000) dan Pavluk & Vaate (2008).

Untuk melakukan analisis spasial, data titik di masing-masing lokasi pengamatan diinterpolasi dengan menggunakan metode *inverse distance weighted* (IDW; Johnson & McChow, 2001) yang terdapat dalam program ArcGIS v.10. Data raster yang dihasilkan

Tabel 1. Tingkat tropik dan kisaran nilai masing-masing parameter untuk analisis indeks tingkat tropik

Table 1. Trophic state and corresponding quantitative parameters of the trophic level index

Status tingkat tropik (<i>Trophic state</i>)	Kategori pengkayaan nutrien (<i>Nutrient enrichment category</i>)	TLI	Klorofil-a (<i>Chlorophyll-a</i>) (mg/m ³)	Kecerahan <i>Secchi disk depth</i> (m)	Total fosfat <i>Total phosphorus</i> (mg/m ³)	Total nitrogen <i>Total nitrogen</i> (mg/m ³)
<i>Ultra microtrophic</i>	<i>Practically pure</i>	0.0-1.0	< 0.33	> 25	< 1.8	< 34
<i>Microtrophic</i>	<i>Very low</i>	1.0-2.0	0.33-0.82	25-15	1.8-4.1	34-73
<i>Oligotrophic</i>	<i>Low</i>	2.0-3.0	0.82-2.0	15-7	4.1-9.0	73-157
<i>Mesotrophic</i>	<i>Medium</i>	3.0-4.0	2.0-5.0	7.0-2.8	9-20	157-337
<i>Eutrophic</i>	<i>High</i>	4.0-5.0	5.0-12.0	2.8-1.1	20-43	337-725
<i>Supertrophic</i>	<i>Very high</i>	5.0-6.0	12.0-31.0	1.1-0.4	43-96	725-1,558
<i>Hypertrophic</i>	<i>Saturated</i>	> 6.0	> 31	< 0.4	> 96	> 1,558

Keterangan (Note):

TLI = Indeks tingkat tropik (*Trophic level index*)

kemudian digunakan untuk menghitung tingkat tropik sesuai dengan persamaan di atas. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan *raster calculator* (*spatial analysis tool*) dalam ArcGIS v.10.

HASIL DAN BAHASAN

Data hasil analisis kualitas perairan disajikan pada Tabel 2. Keempat parameter yang diukur menggambarkan dinamika kondisi suatu danau (Pavluk & Vaate, 2008). Nitrogen dan fosfat merupakan sumber nutrisi bagi tumbuhan. Tingginya konsentrasi nitrogen dan fosfat pada perairan danau umumnya bersumber dari kegiatan pertanian, limbah rumah tangga, ataupun bersumber dari panas bumi. Danau Batur merupakan danau kaldera dari Gunung Batur, sehingga dampak dari aktivitas gunung ini bisa berpengaruh terhadap kondisi kualitas perairan danau. Kisaran total nitrogen dan total fosfat hasil analisis yaitu 227-393 mg/m³ dan 14-32 mg/m³ (Tabel 2). Nilai total fosfat tertinggi ditemui di stasiun 1 yang terletak di tengah danau. Sedangkan total nitrogen tertinggi ditemui di stasiun 2 yang berlokasi dekat dengan pemukiman dan kegiatan budidaya ikan nila dengan KJA. Kondisi serupa juga ditemukan oleh Suryono *et al.* (2008) di Danau Batur yaitu konsentrasi fosfat yang tinggi terdeteksi di tengah dan bagian dasar danau, dan konsentrasi total nitrogen yang tinggi ditemui di bagian Selatan danau di sekitar perairan Desa Kedisan.

Klorofil-a merupakan indikator yang baik untuk melihat tingkat kesuburan perairan yang berhubungan dengan kandungan plankton (alga). Kandungan plankton (alga) merupakan

bagian alami dari sistem dinamik suatu danau. Semakin banyak kandungan/konsentrasi plankton dalam perairan danau akan mempengaruhi tingkat kecerahan perairan tersebut. Kondisi ini akan membuat perairan danau terlihat hijau yang dapat berdampak pada penurunan oksigen terlarut, mempengaruhi nilai pH, serta pada kondisi yang ekstrim dapat menimbulkan bau yang tidak sedap. Pengukuran konsentrasi klorofil-a berkisar antara 9,91-61,49 mg/m³; dengan konsentrasi tertinggi ditemukan di stasiun 4. Nilai kecerahan perairan berkisar antara 1-1,8 m (Tabel 2).

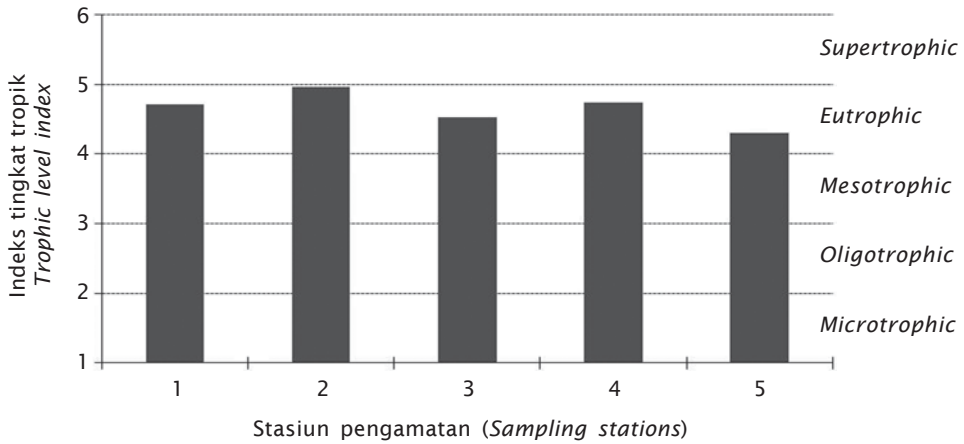
Gambar 2 menampilkan hasil perhitungan indeks tingkat tropik masing-masing stasiun pengamatan. Hasil ini menunjukkan bahwa secara umum seluruh stasiun pengamatan sudah masuk dalam kategori eutropik (TLI: 4-5; Burns *et al.*, 2000). Nilai indeks terendah ditemukan di stasiun 5, dan nilai indeks tertinggi ditemukan di stasiun 2.

Peta tematik distribusi spasial tingkat tropik dari masing-masing parameter kualitas air yang dianalisis dengan IDW dan skala tingkat tropik disajikan pada Gambar 3. Distribusi spasial tingkat tropik total nitrogen terbagi menjadi dua status tingkat tropik yaitu: mesotropik (TL_{nitrogen}: 3-4) dan eutropik (TL_{nitrogen}: 4-5) (Gambar 3A). Berdasarkan konsentrasi total nitrogen, perairan danau umumnya tergolong mesotropik. Kondisi eutropik tersebar di bagian Barat Daya, sekitar perairan Desa Kedisan, dan Timur Laut danau, sekitar perairan Desa Truyan.

Gambar 3B menunjukkan distribusi spasial tingkat tropik total fosfat (TL_{fosfat}). Berdasarkan

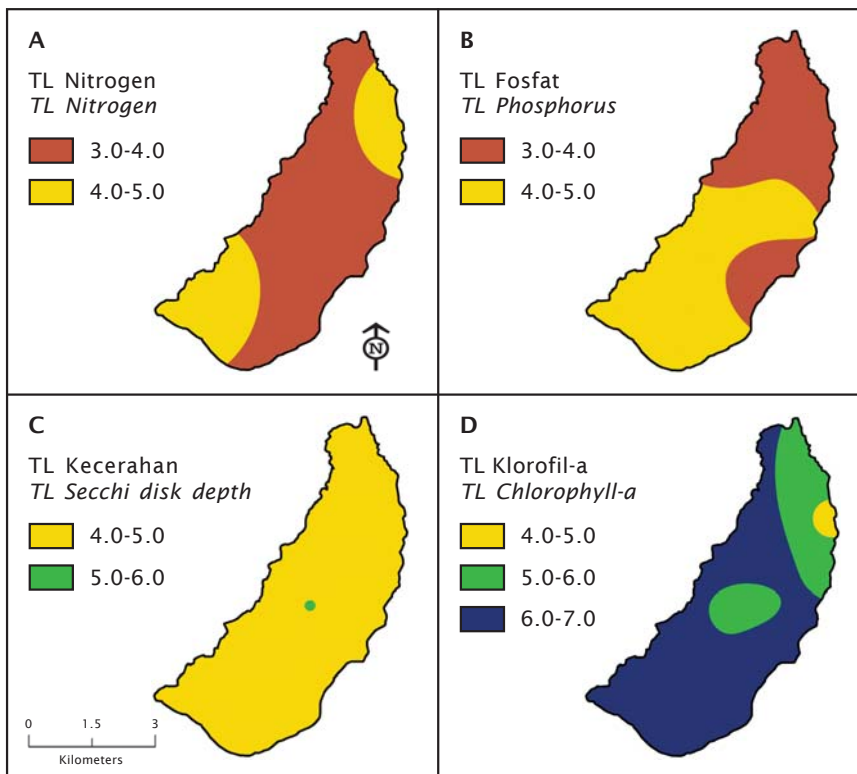
Tabel 2. Data kualitas air hasil pengamatan di Danau Batur Kabupaten Bangli
 Table 2. Water quality data from field measurement in Batur Lake Bangli District

Stasiun Station	Lintang Latitude (S)	Bujur Longitude (E)	Kedalaman Depth (m)	Kecerahan Secchi disk depth (m)	Total fosfat Total phosphorus (mg/m ³)	Total nitrogen Total nitrogen (mg/m ³)	Klorofil Chlorophyll (mg/m ³)
1	8.25857	115.40807	26.1	1.0	32	302	16.36
2	8.26948	115.39043	65.9	1.8	28	393	60.54
3	8.26679	115.41161	40.7	1.35	14	227	40.99
4	8.24795	115.40656	44.3	1.3	14	291	61.49
5	8.24211	115.42467	20.1	1.5	15	371	9.91



Gambar 2. Status tingkat tropik Danau Batur berdasarkan indeks tingkat tropik di masing-masing stasiun pengamatan

Figure 2. Trophic state of Batur Lake based on trophic level index from each station measurement



Gambar 3. Distribusi spasial indeks tingkat tropik dari masing-masing parameter: (A) $TL_{nitrogen}$, (B) TL_{fosfat} , (C) $TL_{kecerahan}$, dan (D) $TL_{klorofil-a}$

Figure 3. Spatial distribution of trophic level index based on each indicator: (A) $TL_{nitrogen}$, (B) $TL_{phosphorus}$, (C) $TL_{secchi\ disk\ depth}$, and (D) $TL_{chlorophyll-a}$

TL_{fosfat} wilayah perairan danau secara seimbang terbagi menjadi dua status tingkat tropik yaitu mesotropik (TL_{fosfat} : 3-4) dan eutropik (TL_{fosfat} : 4-5). Kondisi mesotropik umumnya tersebar merata di bagian Utara, sedangkan eutropik tersebar di bagian Selatan danau.

Distribusi spasial tingkat tropik untuk kecerahan ($TL_{kecerahan}$) ditampilkan pada Gambar 3C. Berdasarkan tingkat tropik parameter ini, perairan danau hampir seluruhnya didominasi oleh eutropik ($TL_{kecerahan}$: 4-5), dan hanya sebagian kecil tergolong supertropik ($TL_{kecerahan}$: 5-6). Daerah dengan kategori supertropik terpusat di tengah danau (Gambar 3C).

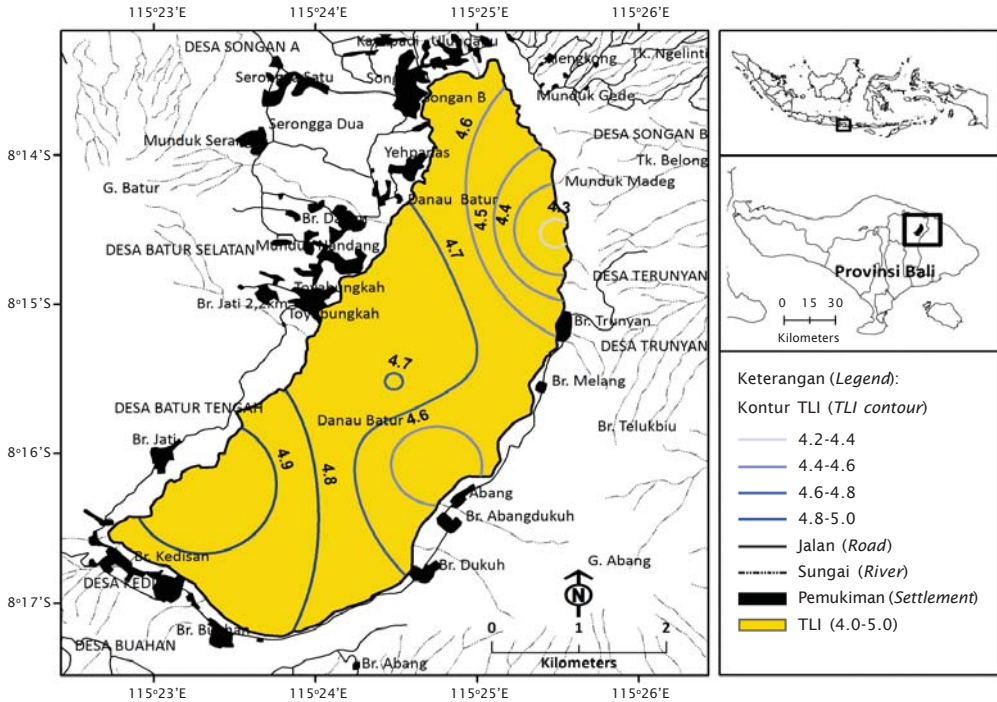
Konsentrasi klorofil-a di perairan Danau Batur menunjukkan kondisi perairan yang sangat tinggi pengkayaan nutriennya. Hal ini ditandai dengan semakin tinggi status/nilai tingkat tropik konsentrasi klorofil-a ($TL_{klorofil}$) yang ditemukan (Gambar 3D). Kategori hipertropik ($TL_{klorofil}$: >6) mendominasi wilayah perairan danau. Perairan dengan status supertropik ($TL_{klorofil}$: 5-6) ditemukan di bagian tengah dan Timur Laut danau. Sedangkan eutropik ($TL_{klorofil}$: 4-5) tersebar hanya sebagian kecil di wilayah Timur Laut danau.

Dengan menggabungkan seluruh parameter yang digunakan untuk menghitung tingkat tropik di penelitian ini, akhirnya diperoleh peta akhir indeks (status) tingkat tropik Danau Batur (Gambar 4). Hasil analisis menunjukkan bahwa Danau Batur seluruhnya masuk dalam kategori eutropik. Namun, jika dilihat dari nilai indeks tingkat tropik secara rinci dapat digambarkan bahwa degradasi perubahan nilai ini sangat jelas terlihat dengan nilai terbesar (TLI: 4,8-5,0) ditemukan di bagian Barat Daya sekitar perairan Desa Kedisan, dan nilai terendah di bagian Timur Laut sekitar perairan Desa Truyan (TLI: 4,2-4,4). Kondisi ini dapat disebabkan di bagian Barat Daya sekitar Desa Kedisan merupakan lokasi yang cukup berkembang dengan banyaknya perumahan, perhotelan, dermaga pariwisata, perkebunan sayur, dan aktivitas budidaya ikan air tawar dengan KJA. Hasil dari penelitian ini menunjukkan kondisi perairan danau telah mengalami penurunan dibandingkan dengan pemantauan yang dilakukan oleh Suryono *et al.* (2008). Penelitian Suryono *et al.* (2008), yang melakukan pengamatan lapangan dari tahun 2005-2007 menunjukkan bahwa kondisi perairan Danau Batur tahun 2005-2006 masih

masuk dalam kategori mesotropik, namun tahun 2007 ada beberapa lokasi yang sudah menunjukkan kategori eutropikringan. Stasiun yang masuk dalam kategori eutropik ringan ini berlokasi di dekat Desa Kedisan.

Analisis tingkat tropik perairan danau dapat digunakan untuk melihat kondisi kualitas perairan danau (Sechi & Sulid, 2007; Parparov *et al.*, 2010). Hal ini sangat diperlukan dalam kaitannya dengan pengelolaan danau. Penghitungan tingkat tropik dapat dilakukan dengan cara menghitung nilai indeks tropik di antaranya menggunakan indeks status tropik (*Carlson's index*), indeks tingkat tropik (TLI), indeks diatom, atau indeks tropik berdasarkan *macrophytes* (Carlson, 1977; Burns *et al.*, 2000; Pavluk & Vaate, 2008). Pendekatan integritas ekologi juga telah digunakan dengan melihat keterkaitan antara beberapa indeks ekologi seperti yang didemonstrasikan oleh Drake *et al.* (2011) di beberapa danau di New Zealand. Perhitungan nilai indeks ini dapat juga dilakukan secara spasial dengan memanfaatkan SIG (Xu *et al.*, 2001; Kexia *et al.*, 2005; Shang & Shang, 2007) ataupun data penginderaan jauh (Thiemann & Kaufmann, 2000; Zhengjun *et al.*, 2008).

Pada penelitian ini, perhitungan tingkat tropik tidak hanya berdasarkan pada satu parameter kualitas perairan saja, namun merupakan penggabungan dari beberapa parameter (fisik, kimia, dan biologi) yang merefleksikan dinamika dari perairan danau. Dengan menggabungkan beberapa parameter ini akan memberikan gambaran yang lengkap tentang tingkat tropik dari suatu perairan danau. Untuk lebih memperhatikan aspek tingkat kepentingan dari suatu parameter, dalam analisis akhir penentuan indeks tingkat tropik dapat pula diberikan bobot sesuai dengan tingkat kepentingan parameter tersebut (Xu *et al.*, 2001). Pemberikan bobot ini tentunya akan berbeda sesuai dengan karakteristik perairan danau dan jenis parameter yang digunakan untuk menghitung indeks tingkat tropiknya. Perhitungan TLI di penelitian ini, hanya didasarkan pada perhitungan aritmetik dengan menggabungkan seluruh empat parameter yang digunakan yaitu kecerahan, total nitrogen, total fosfat, dan klorofil-a. Nilai yang dihasilkan TLI ini berkisar antara < 1 sampai > 6 (Tabel 1). Semakin besar nilai TLI yang diperoleh mengindikasikan kondisi kualitas perairan danau semakin jelek, atau sebaliknya.



Gambar 4. Peta akhir distribusi spasial indeks tingkat tropik di Danau Batur Kabupaten Bangli Provinsi Bali

Figure 4. Final map for spatial distribution of trophic level index in Batur Lake Bangli District Bali Province

Hasil analisis TLI di penelitian ini menunjukkan bahwa nilainya berkisar antara 4-5 atau masuk dalam kategori eutropik. Kategori ini jika dihubungkan dengan kondisi kualitas perairan Danau Batur mengindikasikan kondisi yang jelek. Hasil dari penelitian ini hanya memberikan gambaran tunggal, karena data yang dikumpulkan hanya berasal dari satu kali pengamatan. *Monitoring* secara berkala, baik bulanan ataupun musiman, perlu dilakukan sehingga dapat menghasilkan gambaran yang lebih lengkap. Hasil ini sangat penting bagi pengelolaan danau sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal. Saat ini, Danau Batur telah ditetapkan sebagai kawasan pengembangan minapolitan ikan nila dengan menggunakan KJA. Pada saat penelitian dilakukan, telah banyak berkembang KJA ikan nila sekitar pesisir danau terutama di bagian Barat perairan danau dari Desa Kedisan sampai ke Toyo Bungkah. Jika *monitoring* tidak dilakukan dengan baik, maka dampak negatif yang ditimbulkan oleh rendahnya kondisi kualitas perairan akan berakibat buruk bagi per-

kembangan aktivitas budidaya ikan. Hal ini akan dirasakan jika terjadi kondisi ekstrim baik dari faktor dalam danau (kualitas perairan) maupun luar danau (klimatologi dan pemanfaatan lahan), akan menimbulkan dampak yang merugikan bagi aktivitas budidaya ikan yaitu berupa kematian ikan dalam jumlah yang besar, seperti yang terjadi di Waduk Cirata (Krismono *et al.*, 2001; Abery *et al.*, 2005).

KESIMPULAN

Danau Batur telah ditetapkan oleh Pemerintah Daerah Bangli sebagai wilayah pengembangan minapolitan untuk komoditas ikan nila. Untuk mendukung program tersebut, diperlukan dukungan data dan informasi tentang karakteristik danau. Hasil analisis tingkat kesuburan (eutropikasi) berdasarkan indeks tingkat tropik dari parameter kecerahan, total nitrogen, total fosfat, dan klorofil-a menunjukkan bahwa Danau Batur sudah tergolong eutropik dengan nilai indeks berkisar antara 4,2-5,0. Kategori eutropik ini

menunjukkan bahwa perairan Danau Batur memiliki kualitas perairan yang relatif rendah (kurang baik). Nilai indeks terbesar ditemukan di bagian Barat Daya danau yaitu di perairan sekitar Desa Kedisan. Daerah di sekitar Desa Kedisan merupakan daerah dengan pertumbuhan ekonomi yang cukup tinggi yaitu banyak terdapat daerah pemukiman, perhotelan, pertanian, dan KJA. *Monitoring* secara berkelanjutan sangat diperlukan di Danau Batur guna mendukung pelaksanaan minapolitan dan pengelolaan waduk yang berwawasan lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Bangli atas bantuannya selama kegiatan lapangan. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada tim survei minapolitan: Sdr. Rasidi dan Azis Fatah Efendi, yang telah membantu kelancaran pengumpulan data lapangan. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian Kajian Kelayakan Lahan untuk Pengembangan Minapolitan Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya Tahun anggaran 2011.

DAFTAR ACUAN

- Abery, N.W., Sukadi, F., Budhiman, A.A., Kartamihardja, E.S., Koeshendrajana, S., Buddhiman, & De Silva, S.S. 2005. Fisheries and cage culture of three reservoirs in West Java, Indonesia: a case study of ambitious development and resulting interactions. *Fisheries Management and Ecology*, 12: 315-330.
- Anonim. 2010. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah 2010-2015. Bappeda Kabupaten Bangli, 100 hlm.
- Anonim. 2011. Kelautan dan perikanan dalam angka. Kementerian Kelautan dan Perikanan, 120 hlm.
- APHA (American Public Health Association). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition. American Water Works Association (AWWA)/ American Public Works Association/Water Environment Federation. Washington, USA, 1,368 pp.
- Akan, G., Ozkoc, H.B., Tulek, S., & Cuce, H. 2010. Integrated environmental quality assessment of Kizilirmak River and its coastal environment. *Turkish J. of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10: 453-462.
- Burns, N., Bryers, G., & Bowman, E. 2000. Protocol for monitoring trophic levels of New Zealand lakes and reservoirs. Lakes Consulting Client Report 99/2. Pauanui 2850, New Zealand, 130 pp.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2): 361-369.
- Drake, D.C., Kelly, D., & Schallenberg, M. 2011. Shallow coastal lakes in New Zealand: current conditions, catchment-scale human disturbance, and determination of ecological integrity. *Hidrobiologia*, 658: 87-101.
- Johnson, K. & McChow, J. 2001. Using ArcGIS spatial analysis. Environmental Systems Research Institute (ESRI), Inc, USA, 236 pp.
- Johnston, C.A. 1998. Geographic information systems in ecology. Methods in Ecology. Blackwell Science, 239 pp.
- Kapetsky, J.M. & Anguilar-Manjarrez, J. 2007. Geographic information systems, remote sensing and mapping for the development and management of marine aquaculture. *FAO Fish. Tech. Pap.* No. 458. Rome, 125 pp.
- Kexia, X., Huaicheng, G., Yanfeng, S., & Yongtai, H. 2005. Assessment of the spatial-temporal eutrophic character in the Lake Dianchi. *J. of Geographical Sciences*, 15(1): 37-43.
- Krismono, A.S.N., Krismono, & Kartamihardja, E.S. 2001. Dampak budidaya ikan dalam keramba jaring apung terhadap peningkatan unsur N dan P di perairan Waduk Saguling, Cirata, dan Jatiluhur. *J. Perik. Indonesia*, 7(): 22-30.
- Nath, S.S., Bolte, J.P., Ross, L.G., & Aguilar-Manjarrez, J. 2000. Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 23: 233-278.
- Parparov, A., Gal, G., Hamilton, D., Kasprzak, P., & Ostapenia, A., 2010. Water quality assessment, trophic classification and water resources management. *J. Water Resource and Protection*, 2: 907-915.
- Pavluk, T. & Vaate, A. 2008. Trophic index and efficiency. Ecological Indicators. Elsevier, p. 3,602-3,608.
- Radiarta, I.N. & Adri, I. 2009. Pemetaan distribusi keramba jaring apung ikan air tawar di Waduk Cirata, Jawa Barat dengan multi temporal data ALOS AVNIR-2. *J. Ris. Akuakultur*, 4(): 439-446.
- Radiarta, I.N., Prihadi, T.H., & Sunarno, T. 2005. Pemantauan perikanan budidaya berbasis

- KJA di Waduk Cirata dengan menggunakan multi-temporal data landsat 7. *Warta Penelitian Perikanan Indonesia*, 11: 2-8.
- Sechi, G.M. & Sulis, A. 2007. Multi-reservoir system optimization using chlorophyll-a trophic indexes. *Water Resources Management*, 21: 849-860.
- Shang, G.P. & Shang, J.C. 2007. Spatial and temporal variations of eutrophication in Western Chaohu Lake, China. *Environment Monitoring Assessment*, 130: 99-109.
- Sulastri, Suryono, T., Sudarso, Y., & Nomosatriyo S. 2010. Pengembangan kriteria status ekologis danau-danau kecil di Pulau Jawa. *Limnotek*, 17(1): 58-70.
- Suryono, T., Nomosatriyo S., & Mulyana, E. 2008. Tingkat kesuburan danau-danau di Sumatera dan Bali. *Limnotek*, 15(2): 99-111.
- Thiemann, S. & Kaufmann, H. 2000. Determination of chlorophyll content and trophic state of lakes using field spectrometer and IRS-1C satellite data in the Mecklenburg Lake District, Germany. *Remote Sensing Environment*, 73: 227-235.
- Xu, F-L., Tao, S., Dawson, R.W., & Li, B-G. 2001. A GIS-based methods of lake eutrophication assessment. *Ecological Modelling*, 144: 231-244.
- Zhengjun, W., Jianming, H., & Guisen, D. 2008. Use of satellite imagery to assess the trophic state of Miyun Reservoir, Beijing, China. *Environmental Pollution*, 155: 13-19