

**PENENTUAN KRITERIA NUTRIEN UNTUK PENILAIAN STATUS
TROFIK PERAIRAN WADUK MRICA BANJARNEGARA, INDONESIA**
*(Determination of nutrient criteria for assessing trophic status of Mrica Reservoir
Banjarnegara, Indonesia)*

Agatha Sih Piranti*, Sudarmadji, Agus Maryono***, Suwarno
Hadisusanto******

* Fak. Biologi UNSOED Purwokerto, ** Fak. Geografi UGM, Yogyakarta,

*** Fak. Teknik UGM, Yogyakarta, **** Fak. Biologi UGM, Yogyakarta

Email : agatha.piranti@gmail.com

Diterima: 15 Mei 2012

Disetujui: 16 Juli 2012

Abstrak

Saat ini kriteria nutrisi yang sering digunakan untuk penilaian status trofik suatu badan air di Indonesia adalah berdasarkan OECD (1982), dan Mason (1991) yang merupakan hasil kajian status trofik danau dan waduk di wilayah empat musim (*temperate*). Kriteria tersebut bila digunakan untuk waduk di Indonesia sering tidak mencerminkan kondisi yang sebenarnya karena ada perbedaan mekanisme terjadinya eutrofikasi di wilayah tropis dan *temperate* (Huszar *et al.*, 2006). Tujuan penelitian ini adalah mengkaji hubungan antara konsentrasi nutrisi dengan biomassa algae sebagai dasar untuk menentukan kriteria nutrisi yang tepat sebagai upaya penentuan kriteria trofik waduk di Indonesia. Metode penelitian menggunakan survei dengan mengambil sampel air sebulan sekali selama 1 (satu) tahun mulai Maret 2009 - Februari 2010 di 11 (sebelas) lokasi di perairan Waduk Mrica Banjarnegara. Variabel penelitian adalah Total Nitrogen (TN), Total Fosfat (TP), nitrat (NO_3), ortofosfat (PO_4), ammonia (NH_4), TN/TP, dan klorofil. Kesimpulan adalah kriteria TP untuk mencapai fase eutrofik pada musim penghujan lebih tinggi ($\text{TP} \geq 1,55 \text{ mg/l}$) dibandingkan musim kemarau ($\text{TP} \geq 1,33$). Pada musim penghujan maupun kemarau total nitrogen (TN) bukan merupakan nutrisi pembatas. Nutrien (N dan P) yang tinggi (bahkan mencapai 10 kali lipat lebih tinggi dibandingkan kriteria nutrisi dari wilayah *temperate*) tidak menimbulkan *blooming*. Terjadinya *blooming* algae di Waduk Mrica disebabkan adanya operasional waduk dan didukung oleh kondisi iklim (cahaya dan suhu) yang tidak menjadi faktor pembatas pertumbuhan algae. Oleh karena itu, kriteria nutrisi untuk danau di wilayah sub tropis tidak cocok bila digunakan untuk penilaian status trofik untuk waduk di Indonesia.

Kata kunci: kriteria nutrisi, status trofik, waduk

Abstract

A nutrient criteria currently used for the assessment of trophic status of water bodies in Indonesia are based on OECD (1982), and Mason (1991) resulted from lakes and reservoirs' trophic status study of temperate region. These criteria when used for reservoirs in Indonesia often did not reflect the actual conditions because there are differences in the mechanisms of eutrophication in tropical and temperate regions (Huszar et al., 2006). The purposes of this research were to study the relationship between nutrient and algae biomass in order to determine nutrient criteria properly for assessing the trophic levels of reservoir waters in Indonesia. This research was conducted by surveys by taking samples of water once a month for 1 (one) year from March 2009 to February 2010 in eleven locations of Mrica reservoir. Research variables were total nitrogen (TN), total posfat (TP), nitrate (NO_3), orthophosphate (PO_4), ammonium (NH_4), TN/TP, NO_3/PO_4 and chlorophyll. It can be concluded that The TP criteria of eutrophic phase during rainy season ($\text{TP} \geq 1,55 \text{ mg/l}$) was higher than of dry season ($\text{TP} \geq 1,33$). During both rainy or dry season TN was not a limiting nutrient of algae growth even it was always needed. The very high nutrient (even ten-fold higher than in temperate region) not resulted in algae bloom. This might due to the process of electricity generating and flushing also the climate regimes (light and temperature) were not become a limiting factor for algae growth. Therefore, the nutrient criteria based on temperate region was not work properly if used for assessment of trophic status in Indonesia.

Key words: Nutrient criteria, trophic status, reservoir

PENDAHULUAN

Eutrofikasi adalah suatu proses meningkatnya konsentrasi nutrisi penyebab eutrofikasi (Nitrogen dan Fosfor) di perairan yang ditandai dengan meningkatnya biomassa algae. Besarnya kandungan biomassa algae dapat diestimasi dengan melakukan pengukuran klorofil yang terkandung dalam perairan tersebut yang sekaligus dapat mencerminkan status trofik perairan tersebut. Mason (1991) dan OECD (1982) menyatakan bahwa perairan berada pada tingkat eutrofik bila mengandung konsentrasi klorofil sebesar 10 – 25 mg/m³. Hal ini didukung oleh Florida Lakewatch (2000) yang menyatakan bahwa suatu perairan eutrofik yang mengandung klorofil 25 mg/m³ dapat mengganggu kehidupan organisme perairan lainnya yang selanjutnya dapat mengganggu peruntukan badan air tersebut.

Nutrien (nitrogen dan fosfor) baik dalam bentuk organik maupun anorganik yang masuk ke perairan dan didukung dengan ketersediaan cahaya akan menentukan pertumbuhan biomassa algae (Horne & Goldmann, 1994). Fenomena terjadinya *blooming* algae dikontrol oleh faktor hidrologi (kedalaman *mixing*) dan kondisi optik dari kolom air, yang sifatnya dinamis dan berubah dalam skala ruang dan waktu yang dipengaruhi oleh iklim setempat (Loiselle *et al.*, 2007). Saat ini kriteria nutrisi yang sering digunakan untuk penilaian status trofik suatu badan air di Indonesia adalah berdasarkan OECD (1982), dan Mason (1991) yang merupakan hasil kajian status trofik danau dan waduk di wilayah empat musim (*temperate*). Kriteria tersebut bila digunakan untuk waduk di Indonesia sering tidak mencerminkan kondisi yang sebenarnya karena ada perbedaan mekanisme terjadinya eutrofikasi di wilayah tropis dan *temperate* (Huszar *et al.*, 2006). Thornton *et al.*, (1992) juga menyatakan bahwa dalam hal skala dan waktu terjadinya, eutrofikasi di daerah tropis dan sub tropis jelas ada perbedaan.

Ketidaktepatan penilaian status trofik ini akan menyulitkan upaya penentuan kriteria nutrisi dan perhitungan total *maximum daily load* (TMDL) dari nutrisi yang masuk ke

waduk dalam rangka pengelolaan dan pengendalian eutrofikasi. Thornton *et al.*, (1992) menyatakan bahwa standar pendekatan dan manajemen suatu badan air bersifat sangat spesifik, kompleks dan tergantung pada lokasi dan jenis pemanfaatan masing-masing badan air tersebut. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji hubungan antara konsentrasi nutrisi dengan biomassa algae di Waduk Mrica sebagai dasar untuk menentukan kriteria nutrisi yang tepat sebagai upaya penentuan kriteria trofik waduk di Indonesia.

DESKRIPSI LOKASI

Waduk Mrica adalah salah satu waduk di Indonesia yang terletak di Kabupaten Banjarnegara Jawa Tengah, dibangun tahun 1988 dengan membendung aliran air Sungai Serayu. Fungsi waduk sebagai waduk pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dan penyediaan irigasi, budidaya ikan dalam karamba apung, dan pariwisata. Luas waduk pada saat pasokan air maksimum adalah 8 km², sedangkan pada saat pasokan air minimum adalah 6 km² dengan elevasi pada waktu banjir (*Extreme Flood Water level*) mencapai + 234,5 m dpl, *Full Supply level* + 231,0 m dpl, dan *Minimum Operating level* + 224,5 m dpl.

Waduk mempunyai struktur ekosistem dengan karakteristik kualitas air yang sedikit berbeda dengan danau alami karena dipengaruhi oleh bentuk dan pola operasional yang diterapkan (Thornton *et al.*, 1992; Lawrence, *et al.*, 2000). Waduk Mrica sebagai waduk PLTA menerapkan pola operasi berdasarkan target level. Pada musim penghujan, debit sungai Serayu sangat besar melebihi kapasitas, sehingga elevasi diturunkan sampai 228 meter, sehingga pada musim penghujan mesin pembangkit dioperasikan siang malam. Pada musim kemarau *inflow* sungai Serayu kecil maka air waduk ditampung lebih dulu sampai mencapai elevasi maksimal 230,9 meter dpl sehingga memungkinkan air untuk tinggal di dalam waduk relatif lebih lama dibandingkan pada musim penghujan. *Flushing* sedimen waduk melalui *Drawdown culvert* (DDC) juga dilakukan secara rutin yang

memungkinkan terbuangnya sejumlah besar nutrisi yang terikat dalam sedimen ikut terbuang ke luar waduk (PT. Indonesia Power, 2008).

Berdasarkan kegiatan monitoring rutin yang dilakukan oleh PT. Indonesia, kandungan nutrisi di Waduk Mrica sudah sangat tinggi (bahkan telah 10 kali lipat lebih tinggi bila dibandingkan di daerah sub tropis) yaitu TP 0,13 – 0,19 mg/l, TN 5,2 – 6,4 mg/l (Piranti *et al.*, 2010). Meskipun demikian, dengan kandungan nutrisi yang tinggi tersebut kejadian *blooming* spesies algae tertentu belum pernah terjadi di Waduk Mrica bahkan indeks keragaman algaenya masih cukup tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa ekosistem Waduk Mrica kondisinya masih stabil atau berada pada status mesotrofik (Piranti *et al.*, 2005).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan survei yaitu melakukan pengambilan sampel di daerah genangan waduk sebulan sekali selama 1 (satu) tahun mulai Maret 2009 - Februari 2010 di 11 (sebelas) lokasi sebagai berikut : 1) muara sungai Serayu, 2) muara sungai Lumpang, 3) muara sungai Kandangwangi, 4) Zona riverine, 5) Zona transisi, 6) Tengah Waduk, 7) daerah Karamba Jaring Apung, 8) daerah pintu irigasi, 9) daerah dekat *spillway*, 10) daerah dekat *power intake*, dan 11) daerah Dermaga Pariwisata. Metode pengukuran parameter dan pengambilan sampel air menggunakan teknik *Grab sampling* (teknik pengambilan sesaat yang tidak berubah pada periode waktu tertentu) dan *composite sampling* (teknik pengambilan pada tempat yang sama dengan selang waktu berbeda). Variabel penelitian adalah konsentrasi total nitrogen (TN), nitrat (NO₃), ammonia (NH₄), total fosfat (TP), Ortofosfat (PO₄), NO₃/PO₄, dan TN/TP dan klorofil.

ANALISIS DATA

Untuk mengkaji hubungan konsentrasi nutrisi dan biomassa algae di Waduk Mrica, maka dilakukan analisis regresi-korelasi dan dilanjutkan dengan uji koefisien determinasi

(R²) dengan taraf kepercayaan 5 % (Bluman, 2000) menggunakan program *Minitab version 15*. Penentuan kriteria nutrisi untuk penilaian tingkat trofik yang tepat di wilayah tropis khususnya Waduk Mrica dilakukan analisis semi kuantitatif menggunakan model empiris hasil analisis regresi hubungan nutrisi dengan biomassa algae. Persamaan regresi tersebut kemudian digunakan untuk memprediksi kisaran nilai X (nutrisi) menggunakan kisaran nilai Y (klorofil) sesuai dengan klasifikasi tingkat trofik berdasarkan Mason (1991) menggunakan program komputer "*Mapple version 14*". Untuk membandingkan kriteria nutrisi Waduk Mrica (wilayah tropis) dengan kriteria nutrisi wilayah sub tropis dilakukan secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbedaan besarnya intensitas hujan pada musim kemarau dan penghujan menyebabkan terjadinya perbedaan input nutrisi dari DTA di Waduk, sehingga pembahasan dibedakan berdasarkan musim sebagai berikut:

Musim penghujan (Nopember - Mei)

Berdasarkan hasil analisis korelasi pada musim penghujan menunjukkan bahwa masing-masing nutrisi mempunyai sifat dan derajat hubungan yang berbeda. Hubungan korelasi yang cukup berarti terjadi antara TP - klorofil serta antara NH₄ - klorofil dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar -0,67 dan -0,53, sedangkan nutrisi lainnya hubungannya lemah. Meskipun demikian semua jenis nutrisi terbukti mempunyai hubungan dengan klorofil. Hasil analisis korelasi selengkapnya tercantum pada Tabel 1.

Pengaruh kebersamaan semua jenis nutrisi terhadap perkembangan biomassa algae dibuktikan dari hasil analisis regresi berganda yang membentuk persamaan sebagai berikut:

$$\text{Klorofil} = 21.58 - 9.66 \text{ TP} + 5.31 \text{ PO}_4 - 0.71 \text{ TN} - 0.56 \text{ NO}_3 - 18.69 \text{ NH}_4 + 0.457 \text{ TN/TP} \\ (\text{r} = 0.792 ; \text{R}^2 = 62.74\%) \dots \dots \dots (1)$$

Berdasarkan persamaan tersebut nilai koefisien korelasi gabungan antara semua jenis nutrisi dengan perkembangan biomassa

algae adalah kuat ($r = 0,792$), sedangkan sumbangan ke 6 variabel yang ditunjukkan oleh nilai R^2 sebesar 62,74 %. Hal tersebut berarti perkembangan biomassa algae sebanyak 62,74% dipengaruhi oleh semua jenis nutrisi secara bersama, sedangkan 37,26 % lainnya dipengaruhi oleh faktor lain, misalnya suhu, oksigen, keberadaan cahaya yang tidak diterangkan dalam persamaan tersebut.

Berdasarkan perhitungan besarnya sumbangan efektif terhadap perkembangan biomassa algae menunjukkan bahwa paling dominan dipengaruhi oleh TP dan NH_4 yaitu 20,97 % dan 19,94% sedangkan jenis nutrisi lainnya sumbangannya kecil TN/TP 7,11% , NO_3 5,90 % , PO_4 3,64% dan TN 5,18%. Oleh karena itu, kriteria nutrisi Waduk Mrica pada musim penghujan didasarkan pada TP dan NH_4 . Besarnya sumbangan efektif tercantum pada Tabel 2.

Berdasarkan uji kecukupan model dan uji pemilihan model terbaik (*selecting the best regression equation*) maka model hubungan terbaik adalah kubik untuk TP dan kuadrat untuk NH_4 sebagai berikut:

$$\text{Klorofil} = 18,85 + 18,89 \text{ TP} - 71,75 \text{ TP}^2 + 40,17 \text{ TP}^3, R^2 = 48,4 \% \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Klorofil} = 20,79 - 60,66 (\text{NH}_4) + 64,24 (\text{NH}_4)^2, R^2 = 34,9\% \dots\dots\dots (3)$$

Pada persamaan 2 dan 3 tersebut, menunjukkan bahwa apabila TP atau NH_4 sebagai variabel tunggal dalam mempengaruhi perkembangan biomassa algae, maka berarti bahwa variasi perkembangan biomassa algae sebesar 48,4 % dipengaruhi oleh TP, sedangkan oleh NH_4 sebesar 34,9%, sedangkan sebanyak 52,6 % dan sebanyak 65,1 % dipengaruhi oleh jenis nutrisi lain dan faktor lingkungan lain (suhu, cahaya, dan lainnya).

Penentuan kriteria TP dan NH_4

Kriteria nutrisi berdasarkan TP dan NH_4 pada musim penghujan dihitung dengan melakukan ekstrapolasi terhadap persamaan garis regresi model kubik untuk TP dan kuadrat untuk NH_4 (gambar 1 dan gambar 2).

Berdasarkan Gambar 1. dapat dijelaskan bahwa TP yang sangat rendah ($\leq 0,2$) biomassa algae mengalami peningkatan. Pada fase tersebut kemungkinan komposisi- kom-

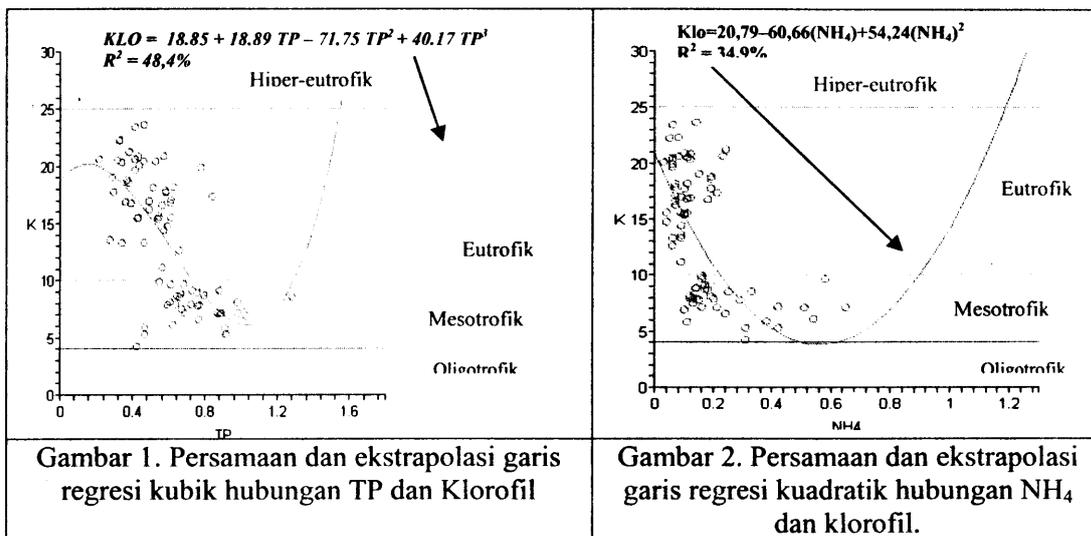
Tabel 1. Korelasi nutrisi dan klorofil pada musim penghujan di Waduk Mrica

No	Korelasi	(r)	Sifat hubungan
1	TP - Klorofil	-0.67	Negatif, sedang/cukup berarti
2	PO_4 - Klorofil	-0.34	Negatif, lemah tapi pasti
3	TN - Klorofil	-0.29	Negatif, lemah tapi pasti
4	NO_3 - Klorofil	-0.35	Negatif, lemah tapi pasti
5	NH_4 - Klorofil	-0.53	Negatif, sedang/cukup berarti
6	TN/TP - Klorofil	0.31	Positif, lemah tapi pasti

Tabel 2. Sumbangan efektif masing-masing jenis nutrisi terhadap perkembangan biomassa algae

Variabel	Sumbangan Efektif (%)	Sumbangan Relatif (%)
TP	20.97	33.43
PO_4	3.64	5.80
TN	5.18	8.26
NO_3	5.90	9.40
NH_4	19.94	31.78
TN/TP	7.11	11.33
Jumlah	62.74	100.00

Gambar 1 dan 2



posisi individu dalam komunitasnya menunjukkan keberagaman yang tinggi dengan jumlah masing-masing individu dalam komunitasnya sedikit (Harper, 1992). Dengan meningkatnya nutrisi khususnya TP ke perairan akan menimbulkan kompetisi di antara organisme tersebut. Hanya organisme tertentu yang mempunyai toleransi terhadap TP yang tinggi yang mampu bertahan sehingga jumlah klorofil menurun, namun ketika mencapai konsentrasi tertentu justru akan meningkatkan jumlah klorofil. Pada kondisi ini kemungkinan telah terjadi perubahan komposisi algae, hanya jenis algae yang tahan terhadap nutrisi tinggi, seperti golongan cyanobacteria yang akan mampu berkembang. Ketika nutrisi terus meningkat maka golongan algae yang mampu hidup pada konsentrasi nutrisi tinggi tersebut sehingga terjadi blooming algae tertentu.

Jadi pada kondisi antara meso dan eutrofik kalau diukur dari banyaknya klorofil tidak dapat dibedakan fasenya, namun kemungkinan dapat jelas dibedakan bila dilihat komposisinya. Pada saat telah terjadi keseimbangan antara nutrisi dan jenis algae yang mampu bertahan pada nutrisi tinggi maka biomassa algae dapat meningkat kembali dan kondisi blooming kemungkinan dapat terjadi sehingga tercapai fase hiper-eutrofik.

Penentuan kriteria nutrisi Waduk Mrica berdasarkan TP dihitung dengan melakukan ekstrapolasi terhadap persamaan garis regresi model kuadratik (Gambar 1) memperlihatkan

ketika TP 0.73 – 1.29 mg/l fase mesotrofik. Ketika TP ≤ 0.73 dan TP 1.29 – 1.55 mg/l fase eutrofik, sedangkan TP ≥ 1.55 mg/l maka fase hiper-eutrofik (Tabel 3). Berdasarkan hasil ekstrapolasi garis regresi (Gambar 2) memperlihatkan bahwa ketika NH₄ ≥ 1.44 – 1.51 mg/l fase oligotrofik, NH₄ 0.24 – 0.85 mg/l dan 1.25 - 1.43 mg/l fase mesotrofik, sedangkan NH₄ ≤ 0.24 mg/l ; 0.85 - 1.25 mg/l fase eutrofik. Hasil selengkapnya pada Tabel 3.

Musim Kemarau (Juni - Oktober)

Hasil analisis korelasi hubungan antara nutrisi dan klorofil di Waduk Mrica pada musim kemarau menunjukkan bahwa jenis nutrisi TP, TN dan NO₃ mempunyai hubungan yang sifatnya negatif, dengan derajat sedang (cukup berarti), sedangkan nutrisi yang lain PO₄, NH₄ dan rasio TN/TP hubungannya lemah dan sangat lemah (Tabel 4).

Berdasarkan hasil analisis regresi berganda membentuk persamaan:

$$Klorofil = 13.96 + 2.73 TP + 6.86 PO_4 - 0.66 TN - 0.40 NO_3 - 9.84 NH_4 + 0.11 TN/TP, (r = 0.765 ; R^2 = 58.46) \dots\dots\dots(4)$$

Nilai koefisien korelasi gabungan antara semua jenis nutrisi dengan perkembangan biomassa algae adalah kuat (r = 0,765), sedangkan sumbangan ke 6 variabel yang ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi

Tabel 3. Kriteria nutrisi untuk penilaian fase trofik pada musim penghujan

Status trofik	Klorofil	TP (mg/L)	NH ₄ (mg/L)
Oligotrofik	0 ≥ K ≤ 4	-	0,5 - 0,6
Mesotrofik	4 ≤ K ≤ 10	0,73 - 1,29	0,2 - 0,5 dan 0,6 - 0,89
Eutrofik	10 ≤ K ≤ 25	≥0,73 ; 1,29 - 1,55	≤ 0,2 dan 0,89 - 1,18
Hipereutrofik	K ≥ 25	≥1,55	≥ 1,18

Tabel 4. Koefisien nutrisi dan klorofil pada musim kemarau

Korelasi	(r)	Sifat hubungan
TP - Klorofil	-0.44	Negatif, sedang/cukup berarti
PO ₄ - Klorofil	0.11	Positif, sangat lemah
TN - Klorofil	-0.67	Negatif, sedang/cukup berarti
NO ₃ - Klorofil	-0.68	Negatif, sedang/cukup berarti
NH ₄ - Klorofil	-0.21	Negatif, lemah tapi pasti
TN/TP - Klorofil	-0.12	Negatif, sangat lemah

(R²) sebesar 58,46%. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkembangan biomassa algae sebanyak 58,46% dipengaruhi oleh semua jenis nutrisi tersebut, sedangkan sebanyak 42,54% lainnya dipengaruhi oleh faktor lain, misalnya suhu, oksigen, keberadaan cahaya yang tidak diterangkan dalam persamaan tersebut.

Berdasarkan hasil analisis sumbangan efektif masing-masing nutrisi terhadap perkembangan biomassa algae menunjukkan bahwa sumbangan paling besar berasal dari TN 27,41% dan NO₃ 16,07% sedangkan jenis nutrisi lainnya sumbangannya kecil berturut-turut TP 5,89 %, NH₄ 5,09%, PO₄ 2,45 % dan rasio TN/TP 1,55%. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkembangan biomassa algae paling dominan dipengaruhi oleh TN dan NO₃ (Tabel 5).

Berdasarkan uji kecukupan model menunjukkan bahwa model terbaik untuk TP dan TN adalah kuadrat, sedangkan NO₃ kubik sebagai berikut:

$$\text{Klorofil} = 14,39 - 2,54 (\text{TP}) - 23,7 (\text{TP})^2 + 23,83 (\text{TP})^3, R^2 = 21,0 \% \dots\dots\dots(5)$$

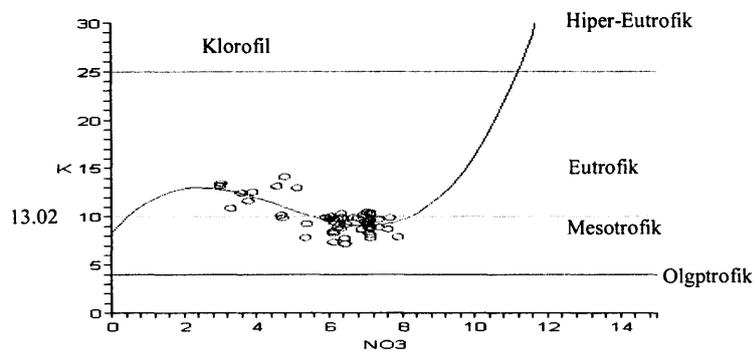
$$\text{Klorofil} = 27,782 - 4,1139 (\text{TN}) + 0,225 (\text{TN})^2, R^2 = 44,93\% \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Klorofil} = 8,4281 + 4,2579(\text{NO}_3) - 1,1753 (\text{NO}_3)^2 + 0,0829(\text{NO}_3)^3, R^2 = 50,79\% \dots\dots\dots(7)$$

Koefisien determinasi (R²) memberikan gambaran seberapa besar pengaruh variabel (nutrisi) terhadap perkembangan biomassa algae. Nilai R² antara TP dan klorofil sebesar 21,0%, TN 44,93%, sedangkan NO₃ 50,79%. Jadi sebenarnya yang berperan sebagai nutrisi penentu perkembangan algae pada musim kemarau adalah TP, TN dan NO₃, namun demikian karena TP pengaruhnya sangat kecil (ditunjukkan dengan nilai sumbangan efektifnya pada regresi berganda sebesar 5,89% dan sebagai variabel tunggal hanya 21,0%) maka apabila digunakan sebagai faktor penentu pengaruhnya tidak nyata. Oleh karena itu pada musim kemarau nutrisi penentu yang dapat digunakan sebagai kriteria nutrisi adalah TN dan NO₃. Nitrat (NO₃) merupakan bentuk ion terlarut yang dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen (senyawa TN). Bentuk NO₃ ini merupakan bentuk nutrisi tersedia yang lebih siap digunakan untuk pertumbuhan algae. Jadi pada dasarnya antara NO₃ dan TN adalah sama sehingga untuk penentuan kriteria yang akan digunakan adalah berdasarkan nitrat yang mempunyai koefisien determinasi (R²) lebih besar.

Tabel 5. Sumbangan efektif masing-masing nutrisi dalam mempengaruhi perkembangan biomassa algae secara bersama

Variabel	Sumbangan Efektif (%)	Sumbangan Relatif (%)
TP	5.89	10.08
PO ₄	2.45	4.19
TN	27.41	46.88
NO ₃	16.07	27.49
NH ₄	5.09	8.71
TN/TP	1.55	2.65
Jumlah	58.46	100.00



Gambar 3. Garis regresi dan ekstrapolasi hubungan NO₃ dan klorofil.

Penentuan kriteria NO₃

Penentuan nutrisi kriteria berdasarkan NO₃ di musim kemarau dihitung dengan melakukan ekstrapolasi garis regresi hubungan antara NO₃ dan klorofil (Gambar 3). Ketika NO₃ sangat rendah ($\leq 0,4$) algae mengalami peningkatan biomassa (fase mesotrofik). Dengan bertambahnya konsentrasi NO₃ maka klorofil meningkat mencapai 13,02 mg/m³, kemudian mengalami penurunan dan naik kembali ketika konsentrasi NO₃ mencapai 7,01 mg/L. Ketika konsentrasi mencapai 11,18 perairan berada pada fase hipereutrofik. Hasil perhitungan kriteria nutrisi berdasarkan ekstrapolasi garis regresi kubik hubungan nitrat dan klorofil tercantum pada Tabel 6.

Konsentrasi nutrisi di Waduk Mrica mencapai 10 kali lipat lebih tinggi dibandingkan sub tropis. Hal tersebut berarti bahwa dengan kandungan nutrisi yang sangat tinggi *blooming* algae belum terjadi, namun di wilayah sub tropis dengan konsentrasi yang rendah sudah menimbulkan *blooming* algae. Di wilayah tropis seperti di Indonesia khususnya

di Waduk Mrica, cahaya matahari dan suhu bukan merupakan faktor pembatas perkembangan algae sehingga algae dapat berkembang terus sepanjang waktu. Mekanisme *blooming* di wilayah sub tropis memungkinkan algae dapat berkembang dengan sangat cepat dalam waktu yang sangat singkat karena adanya stratifikasi suhu pada saat musim dingin (*winter*). Pada saat tersebut terjadi penumpukan nutrisi di lapisan hipolimnion (lapisan bawah permukaan) dan algae juga akan merespon kondisi lingkungan perairan sebagai habitat pertumbuhannya tersebut. Pada kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan pertumbuhan algae menjadi sangat lambat atau beberapa algae (*Cyanobacteria*) dapat membentuk kista (Horne & Goldmann, 1994). *Blooming* algae terjadi ketika musim dingin mulai berakhir dan suhu mulai menghangat (*spring*), maka lapisan termoklin menjadi menipis ataupun menghilang sehingga terjadi pembalikan atau pencampuran (*spring overturn*) dari lapisan hipolimnion dan epilimnion. Dengan intensitas cahaya dan suhu yang memenuhi dan kandungan nutrisi yang

Tabel 6. Kriteria nutrisi berdasarkan NO_3

No	Status trofik	Klorofil	Kisaran NO_3
1	Oligotrofik	$0 > K < 4$	-
2	Mesotrofik	$4 < K > 10$	<0,4 dan 5,58 – 8,18
3	Eutrofik	$10 < K > 25$	0,41 – 5,58 dan 8,18 - 11,18
4	Hipereutrofik	$K > 25$	>11,18

mencukupi maka *biomassa* algae akan berkembang dengan sangat cepat (*Blooming*).

KESIMPULAN

Dasar penentuan kriteria nutrisi Waduk Mrica pada musim penghujan dan kemarau berbeda. Pada musim penghujan berdasarkan TP dan NH_4 , sedangkan pada musim kemarau berdasarkan NO_3 . Kriteria nutrisi Waduk Mrica yang diperoleh belum dapat digunakan untuk membedakan fase mesotrofik dan eutrofik, namun fase hiper-eutrofik sudah dapat diketahui dengan jelas yaitu ketika TP 1,55 mg/L, NH_4 1,18 mg/L dan NO_3 11,18 mg/L.

Jenis nutrisi penentu perkembangan *biomassa* algae di Waduk Mrica dan di wilayah *temperate* ada kesamaan yaitu ditentukan oleh TP, namun nilai kisarannya sangat berbeda. Pada kriteria sub tropis (OECD, 1982) TP \geq 0,10 mg/L fase hiper-eutrofik namun di Waduk Mrica fase hiper-eutrofik dicapai ketika TP \geq 1,55 mg/L). Oleh karena itu, kriteria nutrisi untuk danau di wilayah sub tropis tidak cocok bila digunakan untuk penilaian status trofik untuk waduk di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Bluman, A.G. 2000. Elementary Statistics. A Brief Version. McGraw Hill. USA.
- Florida lakewatch (2000), A Beginner's Guide To Water Management – Nutrients. Departemen Of Fisheries And Aquatic Sciences, Intitute Of Food And Agricultural Sciences University Of Florida.
- Harper, D., 1992. *Eutrofication of Freshwater*. Chapman & Hall. London. New York. Tokyo. Melbourne. Madras.
- Horne, A.J. and Goldman, C.R., 1994. *Lymnology*. Second edition. McGraw Hill, Inc. New York.
- Huszar, V.L.M. ; Caroco, N.F. ; Roland, F. ; and Cole, J., 2006. Nutrient-chlorophyll relationships in tropical-subtropical lakes : do temperate models fit ? *Biogeochemistry* 79 : 239 – 250, 2006
- Lawrence, I., Bormans, M., Oliver, R., Ransom, G., Sherman, B., Ford, P., Schofield, N., 2000. Factor Controlling Algal Growth And Composition Reservoirs : Report Of Reservoir Manager's Workshops. National Eutrophication Management Program.
- Loiselle, S.A.; Cozar, A.; Dattilo, A.; Bracchini, L.; and Galvez, J.A. 2007. Light Limitations to Algal Growth in Tropical Ecosystems. *Freshwater Biology* 52 : 305 -312.
- Mason, C.F., 1991. *Biology of freshwater pollution*. second edition. longman Scientific & Technical. New York.
- Organization for Economic Cooperation & Development (OECD), 1982. *Eutrophication of water, monitoring assessment and control*. Paris.
- Piranti, A.S., Andriyani, N. & Christiani, 2005. Pengaruh keberadaan sistem budidaya ikan dalam jaring apung terhadap tingkat trofik perairan Waduk Mrica Banjarnegara. *Biosfera* 22(2) : 82 – 85.
- Piranti, A.S., Sudarmadji, Waluyo, G., Suwardi, 2010. Penentuan Nutrien Kriteria Dan *Total Maksimum Daily Loads* (TMDL) Sebagai Dasar Pengelolaan Eutrofikasi Di Waduk Mrica, Banjarnegara, Jawa Tengah.

PT. Indonesia Power, 2008. Studi Kelayakan Pengerukan Waduk Mrica Banjarnegara. *Laporan Penelitian*. Kerjasama UNSOED- PT. Indonesia Power UBP. Mrica Banjarnegara.

Thornton, J., Steel, A., and Rast, W., 1992. Reservoirs. Water quality assessments- A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring-Second edition. UNESCO/WHO/UNEP