

DISTRIBUSI DAN KELIMPAHAN POPULASI BAKTERI HETEROTROFIK DI DANAU TOBA

Muhammad Badjoeri^a & Lukman^a

^aStaf Peneliti Puslit Limnologi - LIPI

ABSTRAK

Bakteri heterotrofik berperan penting dalam sistem perairan sebagai perombak dan meremineralisasi bahan-bahan organik menjadi komponen anorganik sederhana. Perairan Danau Toba selain sebagai aset pariwisata, juga di beberapa lokasi telah dimanfaatkan untuk budidaya ikan dengan karamba jaring apung (KJA), yang berpotensi sebagai sumber masuknya bahan organik ke perairan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi dan kelimpahan populasi bakteri heterotrofik sebagai bio-indikator perombakan bahan organik di perairan Danau Toba. Penelitian dilakukan di Danau Toba pada bulan April 2010 di 19 stasiun, dan pada bulan Juni 2010 di 16 stasiun. Penghitungan kelimpahan bakteri menggunakan metoda TPC dan MPN. Hasil pengamatan menunjukkan distribusi spasial bakteri bervariasi dan berfluktuatif dengan kelimpahan relatif tinggi, yang mengindikasikan perairan eutrofik, dan diduga terkait dengan kadar bahan organik yang juga cukup tinggi di perairan. Kelimpahan bakteri heterotrofik tertinggi pada bulan April 2010 mencapai $3,06 \times 10^7$ upk/mL, dan pada Juni 2010 mencapai $3,40 \times 10^6$ upk/mL dan didapatkan di wilayah KJA Haranggaol. Pengamatan ex situ menunjukkan perombakan bahan organik (amonifikasi) di perairan danau Toba telah terjadi dalam waktu 1 – 2 hari dan proses nitrifikasi dan denitrifikasi dalam waktu 2 – 6 hari.

Kata kunci: Danau Toba, bakteri heterotrofik, bahan organik

ABSTRACT

DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF HETEROTROPHIC BACTERIA POPULATION IN LAKE TOBA. Heterotrophic bacteria have an important role in aquatic system on degradation and remineralization of organic materials converted into simple anorganic components. Lake Toba is a renowned tourism destination in North Sumatera and also as fisheries development area for cage-aquaculture. As the consequences, it has potential organic material as contaminants to aquatic system. The purpose of the study was to determine the distribution, abundance and role of heterotrophic bacteria population on the decomposition and the process of organic matter in Lake Toba. Sample collection of bacteria was conducted on Lake Toba over 19 stations (in April 2010) and 16 stations (in June 2010). Analysis of bacteria and water quality were carried out in the Lab. Microbiology Research Center for Limnology LIPI Cibinong. Calculation of the abundance of bacteria was measured by TPC (Total Plate Count) and MPN (Most Probable Number) method. The results showed the spatial distribution of bacteria in Lake Toba was varied and fluctuated in terms of the abundance. It was relatively high due to the high concentration of organic material of the lake. The highest abundance of bacteria was found at station 25 (3.06×10^7 cfu . mL⁻¹) in April 2010. The same fact was also revealed at the region of floating cage of Haranggaol at Station 7 (3.40×10^6 cfu . mL⁻¹) in June 2010. On the basis of microbiology parameters, the Lake Toba has shown a behavior as eutrophic lake. The decomposition process of organic matter (amonification) occurred within 1-2 days whereas nitrification and denitrification process onwent during 2-6 days (based on ex situ observation).

Key words : Abundance, spatial distribution, heterotrophic bacteria, decomposition, organic matter, and Lake Toba.

PENDAHULUAN

Bakteri heterotrofik sangat berperan penting dalam sistem perairan karena kemampuan aktivitas metabolismenya, baik pada lingkungan aerob ataupun anaerob (Sigeo 2005). Dalam siklus biogeokimia di perairan danau, bakteri heterotrofik berperan sebagai perombak dan meremineralisasi bahan-bahan organik menjadi komponen anorganik sederhana yang menjadi hara bagi fitoplankton, perifiton, dan mikroflora akuatik lainnya (Rheinheimer 1985). Komponen bakteri heterotrofik ini diantaranya adalah kelompok bakteri amonifikasi, nitrifikasi dan denitrifikasi, yaitu kelompok bakteri yang mampu merombak bahan nitrogen organik dan berperan dalam siklus nitrogen di perairan (Seeley & Van DeMark 1962; Ferguson *et al.*, 2007; Prosser, 2007).

Bakteri amonifikasi akan merombak nitrogen organik (protein) dengan hasil akhir prosesnya dilepaskan ammonia ke perairan, yang terbentuk akan dimanfaatkan oleh bakteri nitrifikasi. Proses nitrifikasi di perairan dapat berlangsung optimal pada kondisi aerobik dengan hasil akhir prosesnya berupa nitrat (NO_3). Menurut Meske (1985) nitrifikasi sudah dapat berlangsung apabila konsentrasi oksigen terlarut perairan berkisar 0,5 - 0,7 mg/L dan akan terhenti jika konsentrasi oksigennya mencapai 0,2 mg/L.

Denitrifikasi merupakan proses kebalikan dari nitrifikasi. Pada proses denitrifikasi, nitrat akan direduksi menjadi nitrit (NO_2), nitrogen oksida (NO dan N_2O) dan gas nitrogen bebas (N_2). Menurut Hartoto *dkk* (1988) pada daerah hipolimnion, dasar danau atau lapisan *surface-sediment* yang anaerobik atau kandungan oksigennya sangat rendah merupakan area terjadinya proses denitrifikasi. Namun demikian pada daerah aerobik proses denitrifikasi dapat juga berlangsung yaitu secara intra seluler di dalam mikrozona anoksik yang terdapat di

dalam alga atau sel bakteri yang mampu membentuk heterokista

Danau Toba merupakan danau tipe vulkanik kaldera terbesar di dunia yang terletak di Provinsi Sumatera Utara yang berada pada ketinggian sekitar 904 m dpl, membentang dari barat laut ke tenggara sepanjang 87 km dan lebar 27 km dengan kedalaman maksimum sekitar 505 m. Luasan *catchment area* sekitar 3.658 km² dan luasan permukaan 1.103 km² dengan keliling danau sekitar 294 km (Nishimura *et al.* 1994; Hehanusa 2000). Pemanfaatan perairan Danau Toba pada saat ini antara lain sebagai wilayah pariwisata, aktivitas perikanan tangkap, dan di beberapa lokasi telah dimanfaatkan pula untuk budidaya ikan dengan sistem karamba jaring apung (KJA).

Seperti pada umumnya perairan danau, meningkatnya aktivitas manusia di perairan Danau Toba, terutama aktivitas budidaya perikanan dengan sistem KJA, berpotensi sebagai sumber masuknya bahan organik ke perairan tersebut. Pada tahun 1999 di perairan Danau Toba tercatat terdapat sekitar 2.400 unit KJA telah beroperasi dan direncanakan akan dikembangkan lagi menjadi 55.375 unit (Arifin 2004). Pada perairan-perairan yang memiliki aktivitas KJA, seperti waduk-waduk di Sungai Citarum, perkiraan beban organik dari KJA di perairan Saguling adalah 29.869 ton/tahun, di Waduk Cirata 145.334 ton, dan di Waduk Jatiluhur 14.492 ton (Garno, 2002). Limbah organik tersebut secara pasti sebagian diantaranya akan terakumulasi di kolom air dan di dalam sedimen. Pada pengamatan tahun 2000 di Waduk Cirata, Lukman & Hidayat (2002) mendapatkan bahwa bahan organik total di kolom air berkisar antara 13,9 – 22,7 mg.l⁻¹ sedangkan pada sedimen antara 152 -189 mg berat kering per gram sedimen.

Pengembangan budidaya ikan sistem KJA dapat memberikan dampak positif selama masih dalam batas kapasitas daya dukung perairan, akan tetapi budidaya ikan

sistem KJA yang berlebihan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kualitas perairan danau di masa yang akan datang, seperti diantaranya menurunnya kondisi kualitas air, pertumbuhan populasi alga yang berlebihan (*blooming* alga), muncul senyawa toksik, berkembangnya bakteri pathogen dan kematian ikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi dan kelimpahan populasi bakteri heterotrofik sehingga dapat dijadikan bio-indikator untuk mempelajari peranannya dalam proses perombakan bahan organik di perairan Danau Toba.

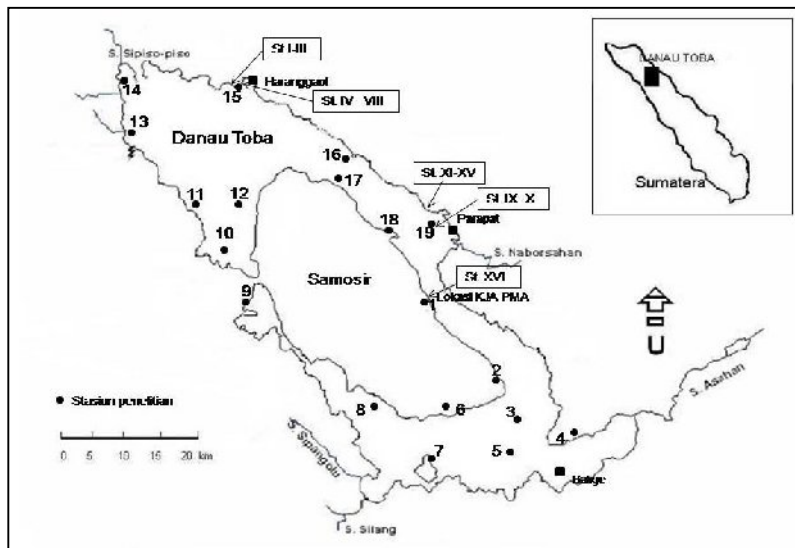
BAHAN DAN METODE

Kegiatan penelitian dilakukan dalam dua tahap kegiatan: i) Penelitian tahap I adalah mengamati kondisi mikrobiologis perairan Danau Toba, yang dilakukan bulan April 2011 dengan lokasi pengambilan contoh pada 19 stasiun (Sta.) yang tersebar di seluruh perairan Danau Toba; ii). Penelitian tahap II dilakukan pada bulan Juni 2011, di wilayah spesifik KJA dan perairan sekitarnya, yaitu pada tiga lokasi di perairan Haranggaol (Sta.I-III), lima lokasi di wilayah KJA Haranggaol (Sta.IX-VIII), dua lokasi di perairan Parapat (IV-X), lima

lokasi di wilayah KJA Parapat (sta. XI-XV), dan satu lokasi di wilayah sekitar KJA milik Perusahaan Modal Asing (PMA) (Sta. XVI) (Gambar 1).

Contoh air diambil sebanyak 60 mL secara *aseptic* menggunakan botol steril dan disimpan dalam *cooling box*. Parameter yang diamati yaitu parameter biologi meliputi total bakteri heterotrofik, bakteri amonifikasi, bakteri nitrifikasi dan bakteri denitrifikasi, dan parameter fisika-kimia air yaitu pH, suhu, oksigen terlarut (DO), total nitrogen (TN), total fosfat (TP) dan total bahan organik (TOM). Analisa bakteri dan parameter kimia air dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Pusat Penelitian Limnologi LIPI.

Penghitungan kelimpahan total bakteri heterotrofik menggunakan metoda Angka Lempeng Total (ALT) dan teknik pengenceran, sedangkan penghitungan bakteri amonifikasi, nitrifikasi dan denitrifikasi menggunakan metode Angka Perkiraan Terdekat (APT) dengan 9 seri tabung uji (Cappucino & Sherman, 1987). Komposisi media bakteri mengikuti formula Rodina (1972). Kultur bakteri diinkubasi selama 1 - 3 hari di ruang inkubator pada suhu ruang.



Gambar 1. Lokasi stasiun pengambilan contoh bakteri heterotrofik di Danau Toba, bulan April dan Juni 2010

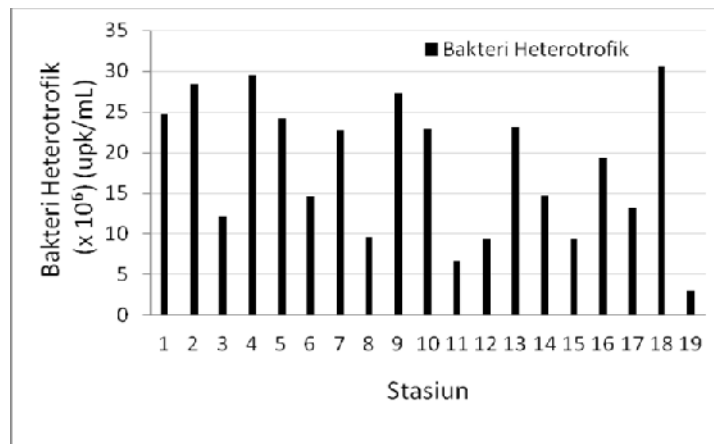
Beberapa parameter dilakukan pengukuran langsung di lapangan antara lain pH, suhu dan oksigen terlarut (DO) dengan menggunakan alat *water quality checker* (WQC) – Horiba. Analisa total nitrogen (TN), total fosfat (TP), total bahan organik (TOM) dan bahan organik terlarut (DOM) menggunakan metode spektrofotometri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis populasi bakteri heterotrofik menunjukkan kelimpahan dan distribusi spasial bakteri heterotrofik pada bulan April 2010 di Danau Toba sangat berfluktuatif (Gambar 2). Kelimpahan bakteri heterotrofik paling tinggi ditemukan di Sta. 18 ($30,6 \times 10^6$ upk/mL) dan terendah di stasiun 19 ($3,04 \times 10^6$ upk/mL).

Kota Balige dan Sta. 9 dari Kota Pangururan. Demikian pula Sta. 1 yang merupakan wilayah KJA dari perusahaan PMA, kelimpahan bakteri heterotrofik cenderung tinggi. Kelimpahan bakteri terendah ditemukan di perairan Parapat (bagian utara) (Sta. 19), sepertinya pengaruh aktivitas Kota Parapat tidak berpengaruh nyata terhadap perairan Parapat bagian utara tersebut. Sebagaimana diketahui, aliran perkotaan dari Parapat umumnya mengalir ke perairan di selatan Parapat, yaitu melalui Sungai Naborsahan.

Sementara itu hasil pengukuran parameter kualitas air, menunjukkan kisaran suhu berkisar antara $26,5^{\circ}\text{C} - 27,4^{\circ}\text{C}$ dan pH $7,76 - 8,90$, kadar organik total (TOM; *Total Organic Matter*) antara $7,3 \text{ mg/L} - 22,8 \text{ mg/L}$ dan kadar organik terlarut



Gambar 2. Distribusi dan kelimpahan bakteri heterotrofik di Danau Toba, April 2010

Beberapa stasiun lain yang memiliki kelimpahan bakteri heterotrofik yang cukup tinggi adalah Sta. 2, 4 dan 9. Tingginya kelimpahan bakteri heterotrofik pada beberapa stasiun diindikasikan terkait adanya pengaruh aktivitas manusia yang tinggi di wilayah tepinya. Di sekitar stasiun 18, merupakan lokasi-lokasi hotel (*cottage*) yang cukup padat, yaitu wilayah Tomok, sedangkan wilayah lainnya adalah Sta. 4 yang diduga dipengaruhi aktivitas perkotaan yang cukup berkembang, yaitu

(DOM; *Dissolved Organic Matter*) antara $2,8 - 13,7 \text{ mg/L}$ (Tabel 1).

Kelimpahan bakteri di perairan Danau Toba ini sebetulnya sudah mengindikasikan kondisi yang sangat tinggi, dengan kelimpahan terendah $3,04 \times 10^6$ upk/mL, sudah mencirikan perairan eutrofik. Hal ini sebagaimana dikemukakan Rheinheimer (1985) bahwa kelimpahan bakteri $> 2,2 \times 10^6$ sel/ml menunjukkan kondisi perairan eutrofik.

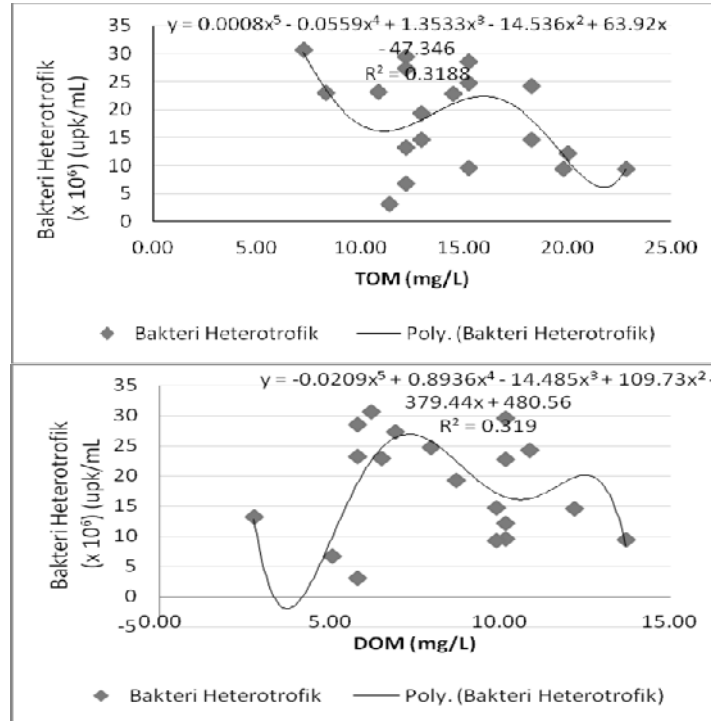
Tabel 1. Kondisi kualitas air Danau Toba, April 2010

Stasiun	Suhu °C	pH	DO mg/L	TOM mg/L	DOM mg/L
1	27.3	8.90	8.47	15,22	7,97
2	27.1	8.23	8.25	15,22	5,80
3	27.3	8.22	8.32	20,02	10,14
4	27.4	8.20	8.29	12,17	10,14
5	26.9	8.41	8.30	18,26	10,87
6	27.0	8.19	7.90	18,26	12,17
7	27.1	8.02	7.95	14,49	10,14
8	27.4	8.11	7.68	15,22	10,14
9	27.1	7.85	7.33	12,17	6,92
10	27.2	7.76	7.71	8,30	6,52
11	27.0	7.89	7.81	12,17	5,07
12	27.0	7.99	7.91	19,78	9,89
13	27.0	8.03	7.69	10,87	5,80
14	27.2	8.22	7.82	12,93	9,89
15	26.7	8.00	7.67	22,82	13,69
16	26.5	8.32	7.55	12,93	8,69
17	26.7	8.05	7.75	12,17	2,77
18	26.6	8.10	7.63	7,25	6,22
19	26.7	8.05	7.75	11,41	5,80

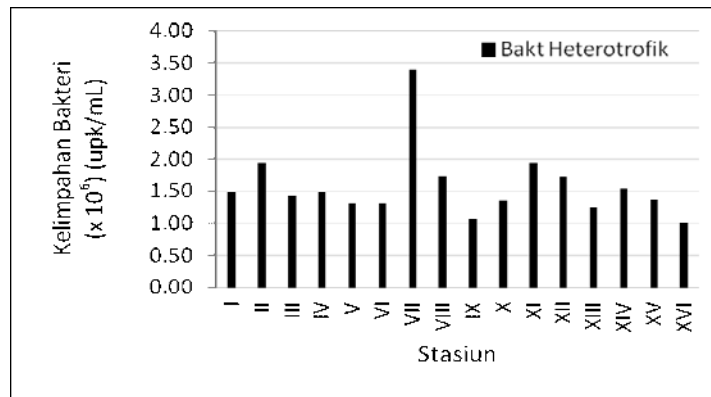
Kelimpahan bakteri heterotrofik di lokasi-lokasi yang diamati tampak tidak sejalan dengan kadar organik yang terukur. Hal ini dibuktikan dari hasil analisa korelasi tidak menunjukkan hubungan yang nyata ($R^2 = 3,19$) antara kelimpahan bakteri heterotrofik dengan TOM dan DOM di perairan (Gambar 3). Hal ini diduga tidak semua jenis bahan organik yang terdapat di perairan dapat dimanfaatkan (dirombak) oleh bakteri heterotrofik. Sementara itu dengan kelimpahan bakteri yang cukup tinggi, maka dengan jelas bahwa kadar

organik terendah yang ada di Danau Toba sudah cukup mendukung kelimpahan bakteri pada kondisi sangat subur (eutrofik).

Hasil pengamatan pada lokasi KJA (Juni 2010) dan perairan sekitarnya, menunjukkan kelimpahan dan distribusi bakteri yang tidak seragam (Gambar 4). Jumlah bakteri heterotrofik terbanyak ditemukan di wilayah KJA Haranggaol (Sta.VII) yaitu $3,40 \times 10^6$ upk/mL dan paling sedikit di perairan sekitar KJA PMA (Sta.XVI) yaitu $1,01 \times 10^6$ upk/mL.



Gambar 3. Korelasi bakteri heterotrofik dengan TOM dan DOM di Danau Toba, April 2010



Gambar 4. Distribusi dan kelimpahan bakteri heterotrofik di Danau Toba, Juni 2010

Kelimpahan bakteri heterotrofik di perairan Teluk Parapat (Sta. IX - X) relatif lebih rendah, yaitu berkisar $1,06 - 1,23 \times 10^6$ upk/mL dibanding di perairan Teluk Haranggaol (Sta. I-III) berkisar $1,45 - 1,94 \times 10^6$ upk/mL. Begitu pula kelimpahan bakteri heterotrofik di KJA Parapat (Sta. XI-XV) berkisar $1,25 - 1,94 \times 10^6$ upk/mL lebih rendah dibandingkan di KJA Haranggaol (Sta. IV-VIII) yaitu berkisar $1,31 - 3,40 \times 10^6$ upk/mL.

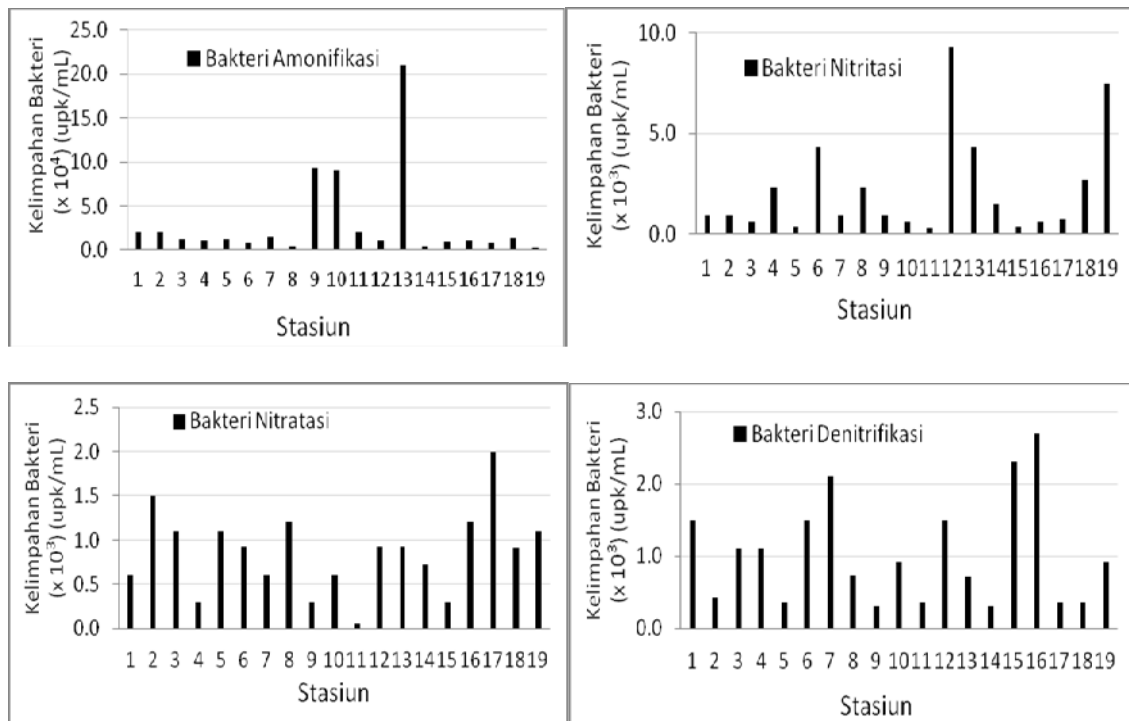
Berdasarkan tingkat kelimpahan bakteri heterotrofik tersebut, mencirikan bahwa aktivitas perombakan organik di wilayah Haranggaol lebih tinggi dibanding Parapat, dan di wilayah KJA cenderung lebih tinggi dibanding dengan wilayah bukan KJA. Hal ini sejalan dengan Rheinheimer (1995), bahwa bakteri heterotrofik di perairan akan memanfaatkan bahan organik sebagai sumber karbon untuk energi metabolisme dan pertumbuhannya.

Jackson *et al.*, (2003) melaporkan kandungan protein pakan ikan budidaya, masing-masing 22% dikonversi menjadi biomassa ikan, 7% untuk aktivitas mikroorganismenya, 14% terakumulasi pada sedimen dan 57% tersuspensi di air.

Pengamatan kelimpahan dan distribusi bakteri perombak senyawa nitrogen di Danau Toba, yang terdiri dari bakteri amonifikasi, nitrifikasi dan denitrifikasi juga memperlihatkan kelimpahan dan distribusi yang bervariasi (Gambar 5; 6).

bakteri denitrifikasi terendah ditemukan di Sta. 9 dan 14 ($0,3 \times 10^3$ sel/mL) dan tertinggi ditemukan di Sta. 16 ($2,7 \times 10^3$ sel/mL).

Berdasarkan kondisi beberapa parameter kualitas air pada bulan April 2010 di perairan Danau Toba (Tabel 1), tidak ada perbedaan nyata dari kondisi pH yaitu pada kondisi basa (kisaran 7,8 – 8,9) dengan oksigen terlarut cukup tinggi (> 7 mg/l) dan suhu pada kisaran $26,5 - 27,4^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan kadar TOM dan DOM, tidak secara jelas wilayah-wilayah KJA memberi-



Gambar 5. Kelimpahan dan distribusi bakteri perombak nitrogen organik di Danau Toba, April 2010.

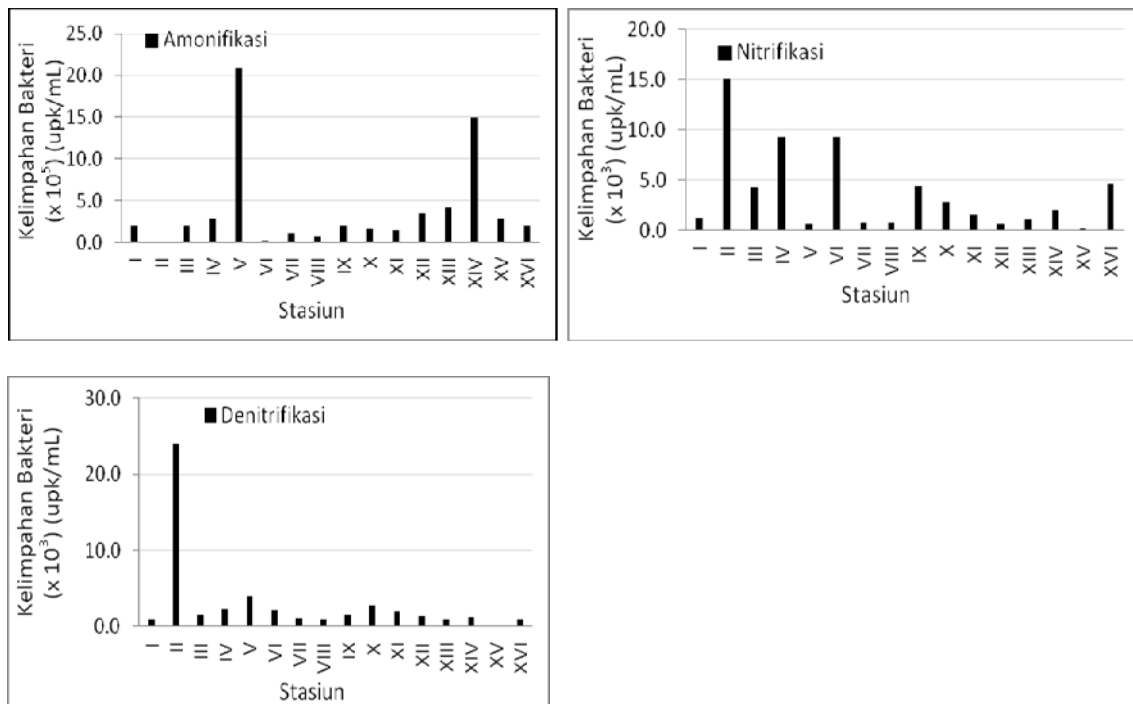
Pada pengamatan bulan April 2010, kelimpahan bakteri amonifikasi terendah ($0,30 \times 10^5$ sel/mL) ditemukan di Sta. 19 dan tertinggi ($2,1 \times 10^5$ sel/mL) ditemukan di Sta. 13. Kelimpahan bakteri nitritasi terendah ditemukan di Sta. 11 ($0,3 \times 10^3$ sel/mL) dan tertinggi ditemukan di Sta. 12 ($9,3 \times 10^3$ sel/mL). Kelimpahan bakteri nitratasi terendah ditemukan di Sta. 11 ($0,06 \times 10^3$ sel/mL) dan tertinggi ditemukan di Sta. 17 ($2,0 \times 10^3$ sel/mL). Kelimpahan

kan karakteristik bahan organik tinggi. Kadar TOM tertinggi tercatat di Sta.15 (22,82 mg/L) yang merupakan wilayah KJA sekitar Haranggaol. Sementara di wilayah-wilayah KJA lainnya seperti di lokasi KJA PMA (Sta. 1) dan di Haranggaol (Sta.15) kadar TOM tidak berbeda jauh dengan lokasi-lokasi lainnya.

Pada pengamatan bulan Juni 2010 di lokasi-lokasi spesifik KJA, kelimpahan bakteri amonifikasi terendah ditemukan di

Sta. II ($9,3 \times 10^3$ sel/mL) dan tertinggi ditemukan di Sta. V ($2,1 \times 10^6$ sel/mL) dan di Sta. XIV ($1,5 \times 10^6$ sel/mL). Kelimpahan bakteri nitrifikasi terendah ditemukan di Sta. XVI (perairan dekat KJA PMA) yaitu $2,1 \times 10^6$ sel/mL dan tertinggi di Sta. II ($1,5 \times 10^4$ sel/mL). Kelimpahan bakteri denitrifikasi terendah ditemukan di Sta. XV ($9,1 \times 10^1$ sel/mL) dan tertinggi di Sta. II ($2,4 \times 10^4$ sel/mL).

bahan organik oleh bakteri heterotrofik di Danau Toba telah terjadi dalam waktu 1 – 2 hari, dan proses nitrifikasi dan denitrifikasi telah berlangsung dalam waktu 2 – 6 hari. Hal ini seperti pengamatan yang dilakukan Badjoeri (2006) dan Badjoeri (2009) yang mengamati proses amonifikasi dan nitrifikasi (*ex situ*) di Danau Loa Kang Kalimantan Timur, perombakan bahan organik menjadi ammonia (amonifikasi) telah terjadi setelah



Gambar 6. Kelimpahan dan distribusi bakteri perombak nitrogen organik di Danau Toba, Juni 2010.

Kondisi beberapa parameter kualitas air yang terukur pada bulan Juni 2010, yaitu suhu berada pada kisaran sempit, yaitu antara $26,3 - 26,7^{\circ}\text{C}$, pH pada kisaran $7,25 - 7,82$, dan oksigen terlarut (DO) umumnya relatif tinggi (> 4 mg/L) (Tabel 2). Dengan demikian diperkirakan faktor kualitas air tersebut tidak berperan nyata terhadap kelimpahan bakteri.

Sementara itu berdasarkan uji laboratorium (*ex situ*), proses perombakan

inkubasi 24 jam dan ammonia hasil perombakan terdeteksi setelah inkubasi 7 hari, sedangkan proses nitrifikasi memerlukan waktu sekitar 13 – 21 hari.

Dengan demikian diperkirakan proses perombakan bahan organik di perairan Danau Toba dipengaruhi oleh kelimpahan bakteri heterotrofik, kadar bahan organik dan kondisi fisika kimia di perairan (habitatnya).

Tabel 2. Kondisi kualitas air Danau Toba, Juni 2010

Stasiun	Deskripsi	Suhu (°C)	pH	DO mg/L
I	Haranggaol	26.6	7.79	5.07
II	Haranggaol 2	26.7	7.74	4.65
III	Haranggaol 3	26.6	7.80	4.70
IV	KJA Haranggaol 1	26.7	7.56	5.21
V	KJA Haranggaol 2	26.6	7.72	4.36
VI	KJA Haranggaol 3	26.6	7.74	4.51
VII	KJA Haranggaol 4	26.7	7.64	5.21
VIII	KJA Haranggaol 5	26.5	7.54	5.14
IX	Parapat 1	26.3	7.25	6.57
X	Parapat 2	26.5	7.38	8.15
XI	KJA Parapat 1	26.5	7.32	5.67
XII	KJA Parapat 2	26.5	7.29	5.24
XIII	KJA Parapat 3	26.6	7.40	4.28
XIV	KJA Parapat 4	26.3	7.36	5.43
XV	KJA Parapat 5	26.3	7.26	5.71
XVI	Dekat KJA PMA	26.7	7.82	7.43

KESIMPULAN

Sebaran bakteri heterotrofik di Danau Toba secara spasial sangat bervariasi dengan kelimpahan yang mengindikasikan perairan eutrofik dan didukung oleh kadar organik perairan yang cukup tinggi. Hubungan antara kelimpahan bakteri heterotrofik dengan total bahan organik di perairan Danau Toba tidak terlihat nyata, diduga kadar organik terendah pun di perairan Danau Toba sudah mendukung kelimpahan bakteri yang tinggi. Aktivitas KJA tidak secara jelas mempengaruhi kelimpahan bakteri heterotrofik perairan Danau Toba, kecuali pada pengamatan Juni 2010 khususnya di wilayah Haranggaol. Proses amonifikasi di Danau Toba secara uji laboratorium telah terjadi dalam 1 - 2 hari dan proses nitrifikasi dan denitrifikasi telah terjadi dalam waktu 2 - 6 hari.

DAFTAR PUSTAKA

Arifin, S., 2004, Pengelolaan Ekosistem Kawasan Danau Toba yang Berwawasan Lingkungan. Prosiding

Lokakarya Danau Kedua Pengelolaan Danau Berwawasan Lingkungan di Indonesia, Forum Danau Indonesia (FDI) dan International Lake Environment Committee Foundation (ILEC). Hal. 89 – 95.

Badjoeri, M., 2006, Distribusi Bakteri Nitrifikasi di Danau Paparan Banjir, Studi kasus : di Suaka Perikanan Danau Loa Kang, Kalimantan Timur, *Jurnal Biologi Indonesia*. IV (2): 87 – 97.

Badjoeri, M., 2009, Distribusi Spasial dan Ter Bakteri Amonifikasi di Suaka Perikanan Danau Loa Kang, Kalimantan Timur, V (4): 489 – 502.

Barus, T.A., 2007., Keanekaragaman hayati Ekosistem Danau Toba dan Upaya Pelestariannya, Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap dalam Bidang Ilmu Limnologi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara. Medan. 21 hal.

Cappucino, J.G., & Sherman, N., 1987, *Microbiology : A Laboratory*

- Manual*, The Benjamin and Cumming Publishing Company Inc, California.
- Ferguson, S.J., D.J Richardson & R.J. M. van Spanning, 2007, Biochemistry and Molecular Biology of Nitrification, *In: Biology of Nitrogen Cycle*. Bothe, H., S. J. Ferguson and W. E. Newton. 2007 (Eds.). Elsevier. Amsterdam. P. 209 – 222.
- Garno, Y.S., 2002, Beban Pencemaran Limbah Perikanan Budiaya dan Yutrofikasi di Perairan Waduk pada DAS Citarum, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 3(2): 112 – 120.
- Hartoto, D.I., S. Sunanisari, M.S. Syawal, Yustiawati, I. Ridwansyah & S. Nomosatryo, 1988, Alternatif Tata Guna Danau Teluk Berdasarkan Sifat Limnologis, Hasil-Hasil Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Limnologi, Taun 1997-1998, Pusat Penelitian dan Pengembangan Limnologi – LIPI. Cibinong. Hal 12 - 102.
- Hehanussa, P.E., 2000, Lake Toba, a Multiple Caldera Depression, North Sumatera, Indonesia. Report of Suwa Hydrobiological Station, Shinshu University, Japan.
- Jackson C., Thompson P.J., & Buford, M., 2003, Nitrogen Budget and Effluent Nitrogen Components at an Intensive Shrimp Farm. *Aquacultur*, 218: 397-411.
- Lukman & Hidayat, 2002, Beban dan Distribusi Bahan Organik di Waduk Cirata, *Jurnal Teknologi Lingkungan* 3 (2): 129 – 135.
- Meske, C., 1985, Fish Awuaculture. Frederick Vogt (Ed & Translated). Pergamon Press. Frankfurt. 313 pp.
- Nishimura, S., E. Abe, J. Nishida, T. Yokoyama, A. Dharma, P.E. Hehanussa, & F. Hehuwat, 1984, “Gravity and Volcanostratigraphic Interpretation of Lake Toba Region, North Sumatra, Indonesia.” *In Tectonophysics*. Elsevier Science: Amsterdam. p. 253 -272.
- Prosser. J.I., 2007, The Ecology of Nitrifying Bacteria, *In: Biology of Nitrogen Cycle*. Bothe, H., S. J. Ferguson and W. E. Newton, 2007 (Eds.), Elsevier, Amsterdam. P. 223 - 243.
- Rheinheimer, G., 1985, *Aquatic Microbiology*. 3rd (eds), John Wiley & Sons Ltd. Chichester. 257 pp.
- Rodina, A.G., 1972, *Methods in Aquatic Microbiology*, Univ. Park Press, Baltimore. p 251-322
- Sigeer, D.C., 2005, *Freshwater Microbiology, Biodiversity and Dinamic Interaction of Microorganism in the Aquatic Environment*, John Wiley & Sons Ltd. Chichester. 524 pp.
- Seeley H.W. Jr. & P. J. VanDemark, 1962, *Microbes in Action, A Laboratory Manual of Microbiology*, 2nd (eds). W.H. Freeman and Company. San Francisco. 181 pp.