

PENYISIHAN SENYAWA NITROGEN DI DALAM LAHAN BASAH BUATAN

Ami A. Meutia dan Estriana Ariestanti
Staf Puslitbang Limnologi-LIPI

PENDAHULUAN

Saat ini pencemaran air di Indonesia sudah menjadi masalah yang sangat serius, tetapi usaha masyarakat untuk mengolah air limbah masih kurang. Air limbah domestik dan industri dibuang langsung ke badan air tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu. Hal ini telah menyebabkan kerusakan yang besar pada lingkungan bahkan dapat mengancam keselamatan manusia.

Pencemaran air dapat disebabkan oleh masuknya bahan organik dan anorganik termasuk di dalamnya gas-gas yang terlarut dalam perairan tersebut. Biasanya komponen organik mengandung unsur C, H, dan O. Kadang kala terdapat pula unsur N, S, P, dan logam-logam. Komponen anorganik meliputi senyawa nitrogen misalnya nitrit dan nitrat, senyawa fosfor misalnya fosfat, senyawa belerang misalnya asam sulfat, dan logam berat misalnya Cd, Cr, dan Hg. Konsentrasi bahan organik dalam air limbah juga sangat beragam, tergantung dari jenis industri, tempat, dan lain sebagainya. Kedua penyebab pencemaran air di atas sangat penting dalam menentukan kualitas air, sehingga perlu dilakukan pemeriksaan yang rutin untuk mengetahui kualitas suatu perairan.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah pencemaran air di Indonesia adalah dengan membangun lahan basah buatan yang merupakan suatu sistem pengolah air limbah. Lahan basah buatan telah banyak digunakan di berbagai negara di dunia dalam mengolah berbagai macam pencemar yang berasal dari air buangan industri, pertanian dan domestik. Sistem ini merupakan pilihan yang baik karena biaya operasional dan pemasangannya murah, mudah digunakan, serta merupakan teknologi yang sangat menarik dan menjanjikan. Walaupun sistem rancangannya masih bervariasi, lahan basah buatan ini sangat cocok diterapkan untuk mengolah air buangan di kota-kota kecil karena terbukti telah memperlihatkan hasil yang efektif untuk penyisihan senyawa nitrogen, COD, BOD, fosfor, dan komponen lainnya (Meutia, 2000).

Maksud penelitian ini adalah membandingkan jenis aliran yang digunakan pada lahan basah buatan yang terletak di Puslitbang Limnologi LIPI, Cibinong, dengan menekankan pada kemampuannya dalam menyisihkan komponen nitrogen dari air limbah. Adapun tujuannya adalah mengetahui efisiensi dan kemampuan lahan basah buatan serta menyelidiki jenis aliran yang cocok untuk penyisihan senyawa nitrogen dalam air limbah yang berasal dari laboratorium.

Pemantauan ini dibatasi pada penyisihan senyawa nitrogen di dalam aliran permukaan dan aliran bawah permukaan.

Lahan Basah Buatan

Lahan basah buatan adalah suatu sistem pengolahan air limbah yang menggunakan teknologi sederhana dengan pendekatan baru untuk menurunkan pencemaran lingkungan, berdasarkan pemanfaatan tanaman dan mikroorganisme, serta dirancang berdasarkan lahan basah alami baik secara struktur maupun proses yang terjadi. Lahan basah sendiri diartikan sebagai daerah bervegetasi yang secara periodik atau tetap tergenang oleh air (Brix, 1994; Denny, 1985). Negara-negara seperti Inggris, Jerman, Denmark, Cina, dan lain-lain telah menggunakan lahan basah buatan untuk pengolahan air limbah. Kelebihan yang didapat jika dibandingkan dengan sistem pengolahan yang lain adalah selain konstruksinya sederhana, biaya pembuatan, operasional, dan perawatannya pun relatif lebih murah, kapasitas penyisihannya cukup tinggi dan merupakan pengolah sekunder dan tersier yang baik. Selain itu tidak memerlukan teknologi tinggi dan pada skala yang besar, tumbuhan lahan basah dapat menyokong keanekaragaman hayati (Brix, 1994).

Dalam mengolah limbah, lahan basah buatan dapat menyisihkan berbagai macam pencemar seperti karbon organik, padatan terlarut, hara, logam berat dan bakteri. Keberhasilan lahan basah buatan dalam memperbaiki kualitas air tergantung pada empat komponen yaitu vegetasi, kolom air yang optimum, media yang cocok dan kehadiran mikroba tertentu. Peranan utama vegetasi lahan basah buatan adalah menyediakan lingkungan yang cocok bagi mikroba untuk menempel dan tumbuh, bersamaan dengan itu menghalangi aliran dan menahan padatan terlarut. Media seperti tanah, pasir dan kerikil berperan langsung dalam penghilangan pencemar dengan interaksi fisika kimia seperti

filtrasi, penyerapan, dan penyokong fisik tanaman. Mikroorganisme berperan penting dalam penjernihan air pada lahan basah buatan (Meutia, 2000).

Menurut (Crites, 1994), lahan basah buatan dikategorikan ke dalam dua jenis, yaitu: aliran permukaan dan aliran bawah permukaan. Aliran permukaan sangat populer di Amerika, umumnya menggunakan tanaman *Thypha* spp. dan *Scirpus* spp., sedangkan aliran bawah permukaan lebih banyak digunakan di Eropa, Australia, Afrika Selatan dan umumnya ditanami *Phragmites* spp. (Wood, 1995). Kriteria rancangan aliran permukaan adalah waktu penahanan, beban organik, beban hidrolis, dan kedalaman air. Selain itu pengontrolan nyamuk dan pemanenan vegetasi juga dipertimbangkan. Aliran ini dipengaruhi pula oleh hujan dan evapotranspirasi. Kriteria rancangan aliran bawah permukaan adalah waktu penahanan, beban BOD dan padatan, beban hidrolis, kedalaman media dan ukuran media. Di dalam lahan basah buatan terjadi penyisihan pencemar dengan cara interaksi fisika kimia seperti filtrasi dan sedimentasi dari padatan terlarut, filtrasi organisme patogen, penguapan, pengendapan, evapotranspirasi, penyerapan materi organik, nitrogen, fosfor, dan logam-logam berat (Gersberg, 1986). Pada aliran bawah permukaan, secara tidak langsung media berfungsi sebagai penyokong sistem perakaran dan daerah permukaan untuk penempelan mikroorganisme. Mikroorganisme juga berperan penting dalam penjernihan air di dalam lahan basah buatan. Mikroba menggunakan bahan organik sebagai substrat yang kaya akan energi dan mengubahnya menjadi hara dan energi. Tumbuhan memerankan peranan penting pada saat difusi oksigen dari akar-akar memungkinkan keadaan yang sesuai untuk perkembangan mikroba yang berpartisipasi dalam dekomposisi materi organik secara aerob. Sistem perakaran berperan sebagai daerah permukaan yang luas untuk perkembangan mikroorganisme dan dapat melaksanakan filtrasi serta penyerapan bahan sedimen. Bentuk-bentuk lahan basah buatan sangat bervariasi disesuaikan dengan fungsi dan tujuan pengolahan berbagai macam air limbah.

Air limbah laboratorium limnologi mengandung bahan-bahan organik seperti asam oksalat, asam asetat glasial, dan fenol serta bahan-bahan anorganik seperti HNO_3 , KMnO_4 , asam sulfat pekat, AgNO_3 , MnSO_4 , dan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Semuanya itu berada dalam konsentrasi yang sangat kecil.

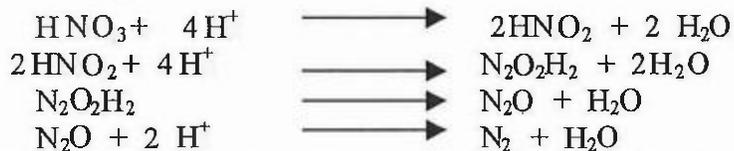
Senyawa Nitrogen

Nitrogen memasuki siklus biologi melalui asimilasi amonium, nitrat dan fiksasi biologi gas nitrogen dari atmosfer ke dalam bentuk N-organik (protein dan asam amino). Umumnya penyisihan air limbah pada lahan basah berjalan dengan baik untuk komponen BOD dan COD, tetapi merupakan faktor pembatas untuk penyisihan nitrogen (Nichols, 1983). Salah satu syarat untuk mengoptimalkan fungsi dari penyisihan hara adalah pengetahuan tentang berbagai proses yang terjadi serta kondisi saat proses tersebut dapat berjalan dengan optimal. Proses yang terjadi pada penyisihan nitrogen umumnya adalah transformasi oleh bakteri.

Pada tanaman, umumnya nitrifikasi merupakan faktor pembatas. Evapotranspirasi merupakan salah satu faktor terkuat pendukung nitrifikasi. Nitrifikasi adalah oksidasi amonium menjadi nitrit oleh bakteri *Nitrosomonas* dan kemudian menjadi nitrat dengan bantuan bakteri *Nitrobacter*. Proses ini hanya berjalan dibawah kondisi aerobik. Reaksinya adalah:



Sedangkan denitrifikasi adalah proses dekomposisi anoksik. Dalam proses ini bahan-bahan organik dipecah oleh bakteri dengan nitrat sebagai penerima elektron selain oksigen. Reaksi adalah sebagai berikut:



Lahan basah pada umumnya mempunyai laju nitrifikasi yang jauh lebih lambat jika dibandingkan dengan laju denitrifikasi. Ini menunjukkan bahwa kondisi aerobik dan anoksik sangat diperlukan untuk mengoptimalkan proses denitrifikasi dengan menggunakan jenis tumbuhan besar yang daunnya muncul di atas permukaan (*emergent plant*), yang dapat memberikan aerasi pada tanah melalui akarnya (Brix, 1989; Reddy *et al.*, 1989).

BAHAN DAN METODA

Alat yang dipergunakan antara lain: peralatan gelas, neraca, spektrofotometer, otoklaf yang telah diatur suhunya pada 121°C.

Bahan yang digunakan antara lain perèaksi pengoksidasi untuk total-N, NaOH 0,375 N, H₂SO₄ (pekat), larutan brusine 5%, larutan sulfanilamida, larutan NEDD (N-1-naftil-etilen diamin diklorida), larutan standar nitrit, larutan standar nitrat, larutan standar amonia, larutan oksidan, Na-hipoklorit, larutan Na-sitrat, larutan fenol-alkohol, larutan Na-nitroprusida, larutan MnSO₄, larutan alkali-iodida-azida (pereaksi Winkler's), larutan H₂SO₄ 4 N, larutan kalium dikromat, larutan kanji 2%, larutan tiosulfat 0,025 N.

Sistem lahan basah buatan (*constructed wetland*) skala kecil dibuat dalam dua seri, yaitu aliran permukaan dan aliran bawah permukaan (Gambar 2 dan 3). Setiap seri terdiri dari enam kolam, tiga di antaranya berisi tanaman *Thypha* sp. pada kolam kedua dan ketiga, dan *Hydrilla* sp. pada kolam keempat. Tangki sedimentasi pada kolam pertama berfungsi untuk mengendapkan padatan. Kolam kedua dan ketiga untuk mereduksi COD, nitrogen dan fosfor. Kolam keempat untuk mereduksi senyawa-senyawa tersebut lebih lanjut yang masih tetap berada dalam konsentrasi yang rendah. Tangki penjernihan untuk memisahkan padatan halus dan air, serta kolam yang terakhir sudah berupa air yang sangat jernih tersimpan di dalam penampungan tertutup dan siap digunakan untuk keperluan lain. Kolam yang berisi tanaman mempunyai area seluas 3 m², diisi dengan kerikil setinggi 15 cm dan pasir dengan tinggi 10 cm. Ketinggian airnya adalah 30 cm di atas pasir. Air limbah berasal dari buangan cucian kegiatan laboratorium yang berlangsung dari jam 08.00-16.00 (Senin-Jum'at). Kecepatan aliran air yang masuk ke dalam kolam pertama juga bergantung pada kegiatan laboratorium. Buangan limbah mengalir terus-menerus dari satu kolam ke kolam lainnya akibat adanya gaya gravitasi. Listrik ataupun pompa tidak digunakan. Waktu tinggal air pada lahan basah buatan adalah 24 jam dan sistem ini bekerja sebagai pengolah utama air limbah tanpa pengolahan terlebih dahulu (Meutia, 2000).

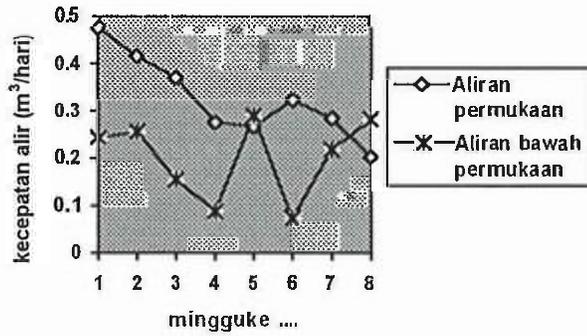
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kecepatan aliran air limbah pada aliran permukaan semakin menurun dari minggu ke-1 sampai minggu ke-8 (Gambar 1). Ini disebabkan oleh aktivitas di laboratorium yang sedikit sehingga masukan air limbahnya juga sedikit. Pada aliran bawah permukaan terjadi peningkatan kecepatan aliran air limbah yang masuk untuk minggu ke-5, 7, dan 8 karena banyaknya aktivitas di laboratorium pada minggu tersebut.

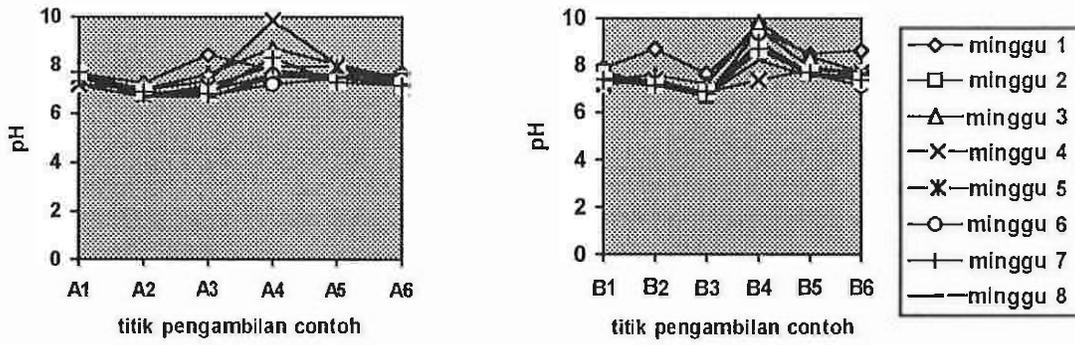
Kedua aliran yaitu aliran permukaan dan aliran bawah permukaan, memperlihatkan pH yang basa yaitu sekitar 7-10 (Gambar 2). Nilai yang diperoleh sangat bervariasi dan bergantung dari bahan organik yang terdapat pada air limbah itu sendiri. Walaupun pH pada tangki masukan bersifat basa, tetapi pada tangki keluaran pH-nya konstan mendekati netral yaitu sekitar 7.0 dan pada tangki keluaran ini airnya sudah jernih. Keasaman pH pada lahan basah buatan selama berlangsungnya percobaan mengalami kenaikan pada semua kolam. Kenaikan terjadi dari rata-rata 7.3 pada tangki masukan dan naik menjadi rata-rata 8.5 pada kolam keempat kemudian mengalami penurunan menjadi sekitar 6.5-7.0 (netral) pada tangki keluaran. Proses nitrifikasi menurun dengan pesat pada pH kurang dari 6. Tanah basa yang kandungan garamnya tinggi akan memperlambat produksi nitrat karena bakteri nitrifikasi tidak tahan terhadap kadar garam. Adanya kenaikan pH selama percobaan salah satunya disebabkan oleh berlangsungnya proses denitrifikasi.

Suhu air pada kedua aliran juga bervariasi, yaitu berkisar 27-29 °C pada tangki masukan dan 30-32 °C pada tangki keluaran (Gambar 3). Proses nitrifikasi berjalan optimal pada suhu antara 30-35 °C namun berjalan lambat pada suhu kurang dari 5 °C dan lebih dari 40 °C, sedangkan proses denitrifikasi berjalan optimal pada suhu antara 25-65 °C. Suhu di atas dan di bawah kisaran tersebut menyebabkan proses denitrifikasi menurun. Kurang tersedianya unsur karbon juga akan menurunkan proses denitrifikasi.

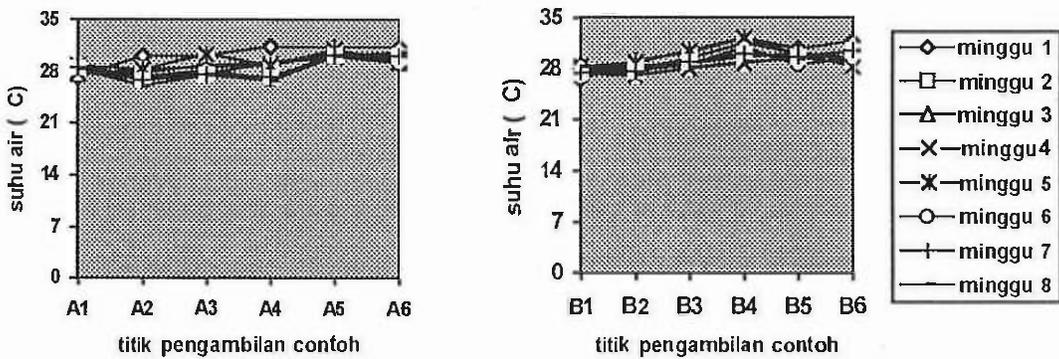
Konduktivitas cenderung tinggi pada tangki masukan dan mencapai sekitar 0.6 mS/cm² pada aliran bawah permukaan (Gambar 4). Pada tangki keluaran, konduktivitas untuk kedua aliran mendekati konstan, yaitu sekitar 0.1-0.2 mS/cm². Turbiditas pada kedua kolam cenderung meningkat, namun kemudian mendekati nol pada tangki keluaran. Ini menunjukkan bahwa air hasil pengolahan sudah menjadi jernih secara visual dan nilai turbiditasnya berkisar 0-5 NTU (Gambar 5).



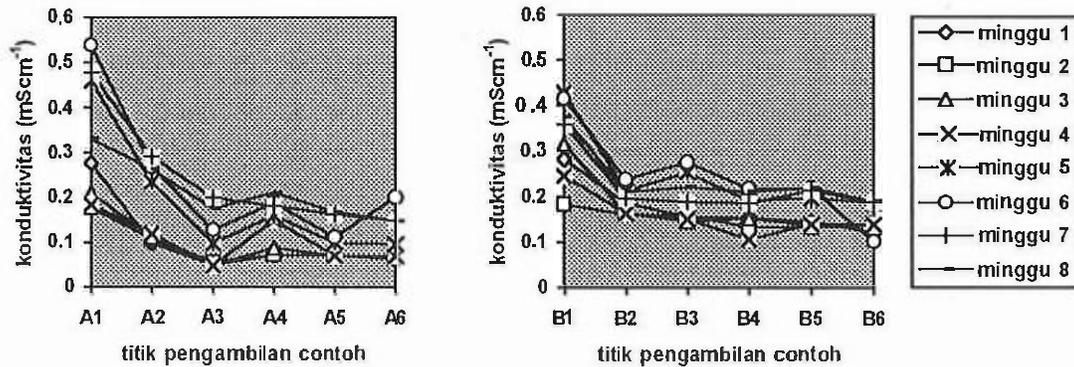
Gambar 1. Pengukuran kecepatan alir air limbah.



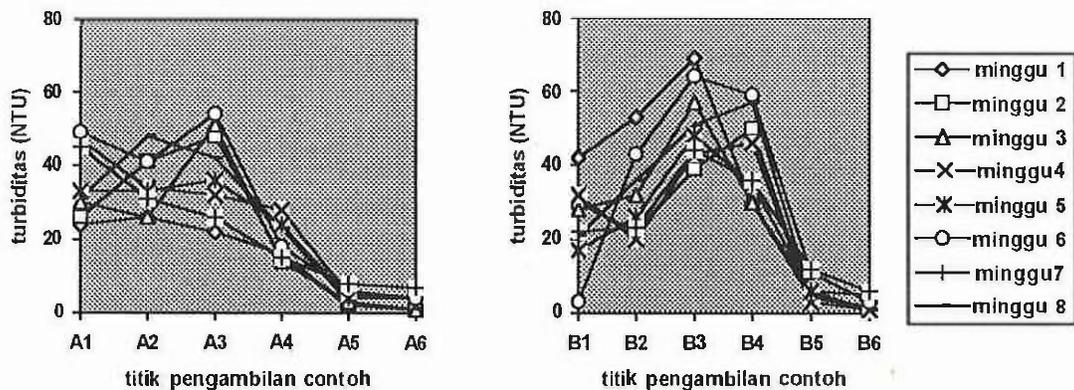
Gambar 2. Pengukuran pH aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.



Gambar 3. Pengukuran suhu air aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.



Gambar 4. Pengukuran konduktivitas aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.



Gambar 5. Pengukuran turbiditas aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.

Nitrogen

Gambar 6-9 memperlihatkan pola yang sama dari minggu ke-1 sampai dengan minggu ke-8. Konsentrasi senyawa nitrogen pada tangki sedimentasi bervariasi karena tergantung pada banyaknya aktivitas laboratorium pada saat itu. Konsentrasi nitrit semakin lama semakin menurun karena sebagian dari nitrit sudah diubah menjadi nitrat melalui proses nitrifikasi (Gambar 6). Penyisihan nitrit oleh proses nitrifikasi sangat bagus, terlihat dari penurunan konsentrasi yang besar pada A1 sampai dengan A6.

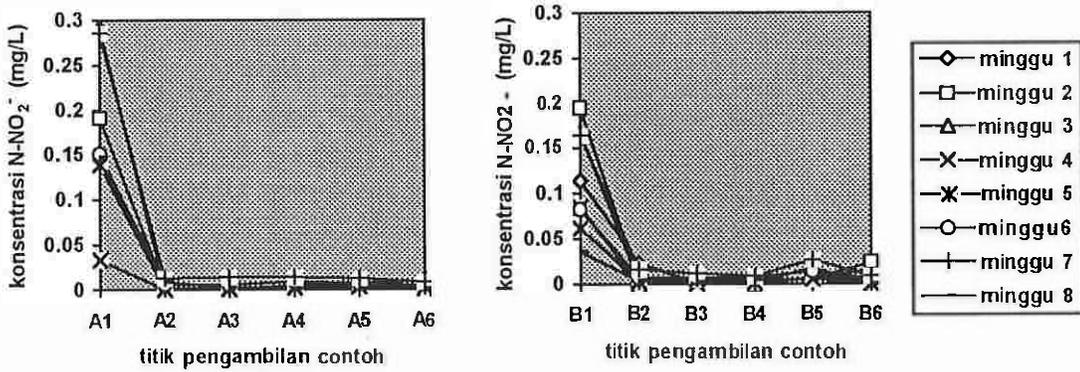
Kenaikan kadar nitrat (Gambar 7) pada A5 dan B5 disebabkan oleh berlangsungnya proses nitrifikasi sehingga amonium yang terdapat pada air limbah diubah oleh bakteri nitrifikasi menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat. Nitrat yang dihasilkan kemudian

diuraikan oleh bakteri denitrifikasi. Tetapi karena pada B5 tidak terdapat tanaman yang dapat menunjang kehidupan bakteri, nitrat terakumulasi. Pada tangki keluaran terdapat tanaman *Lemna* sp. yang tumbuh dengan sendirinya di dalam tangki dan tampaknya nitrat diuraikan secara denitrifikasi sehingga konsentrasi nitrat menurun kembali. Penyisihan nitrat oleh proses nitrifikasi sudah cukup bagus walaupun penyisihannya tidak setinggi amonium dan nitrit.

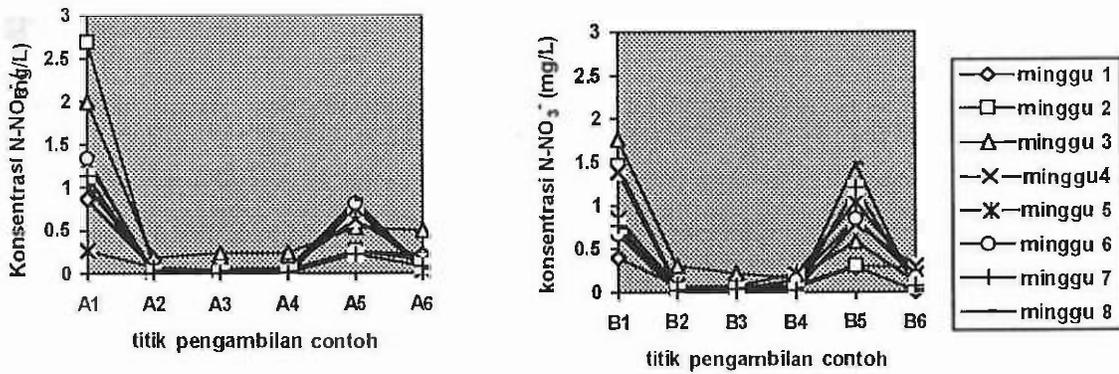
Gambar 8 memperlihatkan konsentrasi amonium yang menurun. Hal ini menunjukkan bahwa proses nitrifikasi berlangsung dengan baik. Penurunan konsentrasi amonium yang besar dari A1 sampai A6 menunjukkan bahwa penyisihan amonium oleh proses nitrifikasi berlangsung dengan baik.

Konsentrasi total-N pada minggu ke-3 berbeda nyata jika dibanding dengan minggu yang lain (Gambar 9). Kemungkinan hal ini disebabkan oleh terdapatnya senyawa nitrogen lain yang ikut terukur sehingga konsentrasi yang dihasilkan menjadi lebih besar. Penyisihan total-N sudah cukup bagus walaupun tidak sebanyak nitrit, nitrat, dan amonium.

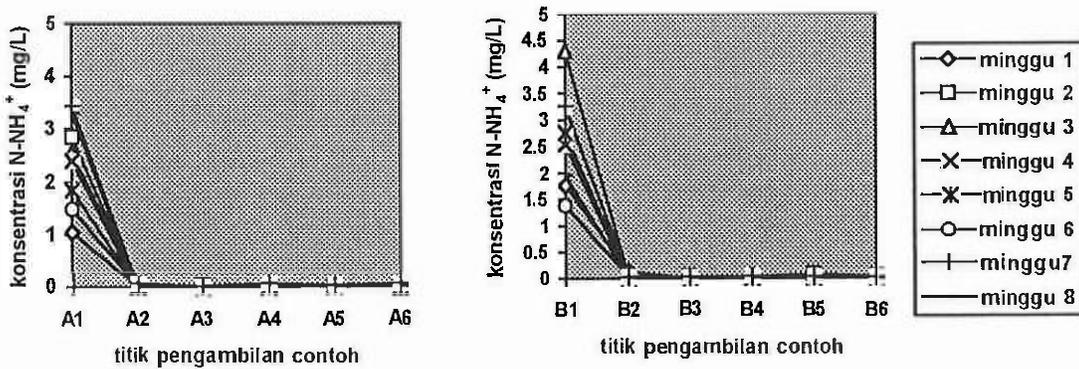
Kesulitan yang sering ditemukan pada sistem lahan basah buatan adalah menjaga kondisi aerobik pada tanah. Menyediakan oksigen yang cukup pada sistem lahan basah buatan merupakan salah satu rintangan yang harus ditindaklanjuti. Kadang kala, tidak tersedia oksigen yang cukup untuk mengubah amonia menjadi nitrat melalui proses nitrifikasi. Sumber utama oksigen berasal dari tanaman lahan basah buatan, tetapi penyediannya terbatas dan tidak efektif. Hal ini disebabkan oleh sistem perakaran tanaman yang buruk. Jika sistem perakarannya tidak bisa mencapai kedalaman dari sistem, maka air limbah akan mengalir melalui bagian bawah daerah perakaran yang tidak ada lagi oksigen tersedia.



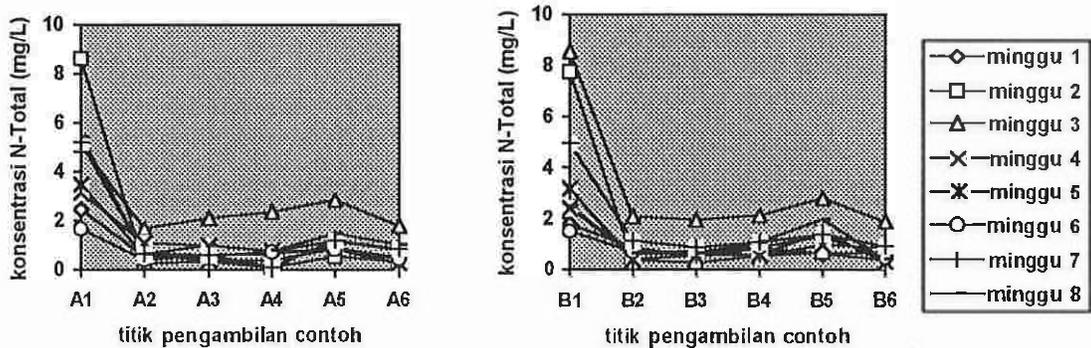
Gambar 6. Konsentrasi $N-NO_2^-$ aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.



Gambar 7. Konsentrasi $N-NO_3^-$ aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.

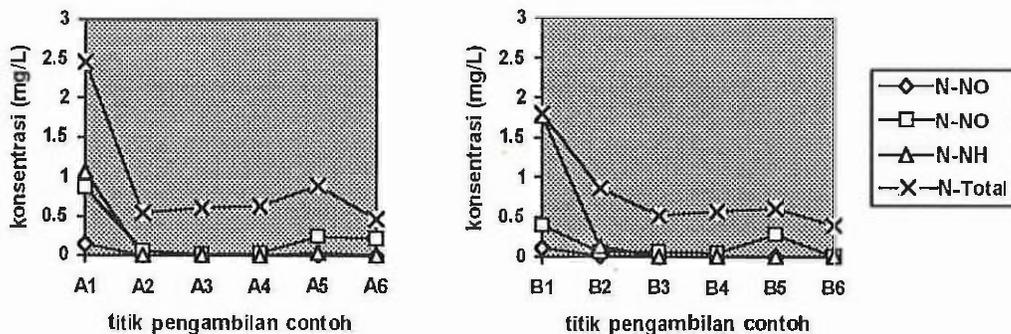


Gambar 8. Konsentrasi $N-NH_4^+$ aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.



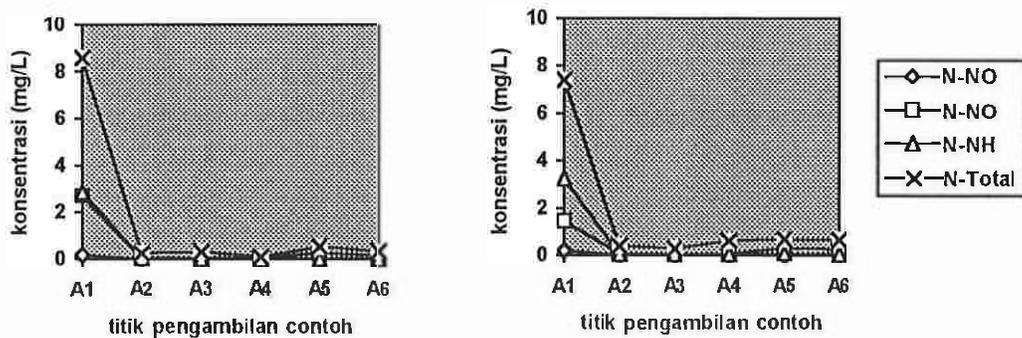
Gambar 9. Kosentrasi N-Total aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.

Proses nitrifikasi minggu ke-1 berlangsung dengan baik (Gambar 10). Hal ini ditandai dengan meningkatnya konsentrasi nitrat pada A5 dan B5, sedangkan konsentrasi nitrit dan amoniumnya sudah menurun. Pada tangki masukan, kadar amonium, nitrit, dan nitratnya tinggi. Hal ini sesuai dengan kecilnya kadar oksigen terlarut yang terukur.



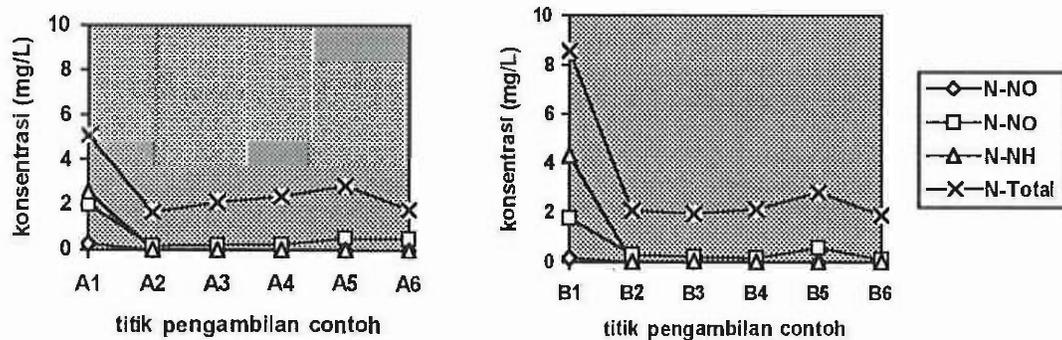
Gambar 10. Konsentrasi parameter N minggu ke-1 pada aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.

Kadar nitrat minggu ke-2 pada kolom ke-5 tidak meningkat sebanyak yang terjadi pada minggu pertama (Gambar 11). Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya air yang mengalir dari kolom 4 ke kolom 5 sehingga terjadi pengenceran yang menyebabkan konsentrasi nitrat menurun.



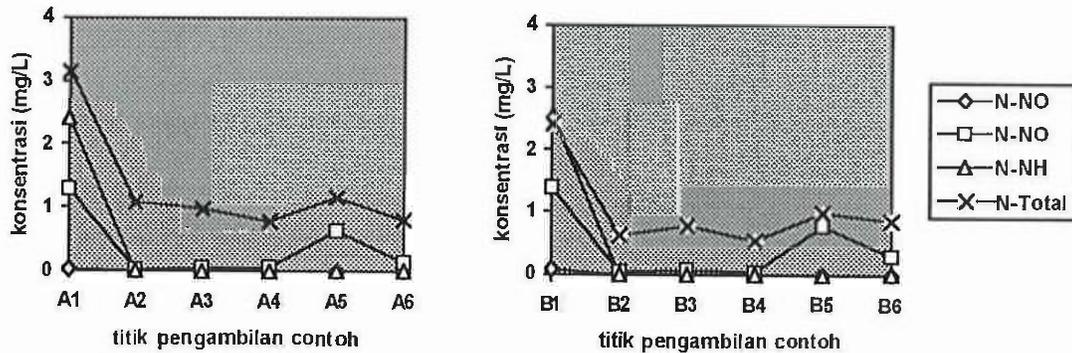
Gambar 11. Konsentrasi parameter N minggu ke-2 pada aliran bawah permukaan aliran permukaan

Pada minggu ke-3, konsentrasi nitrit yang dihasilkan pada kolam ke-5 hanya meningkat sedikit seperti halnya pada minggu ke-2 (Gambar 12). Namun proses nitrifikasi tetap berlangsung karena adanya kenaikan nitrat walaupun hanya sedikit. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar amonium sudah teroksidasi menjadi nitrit kemudian nitrat. Proses denitrifikasi juga berlangsung, ditandai dengan menurunnya konsentrasi nitrat yang terukur setelah kolam ke-5 karena nitratnya diuraikan lagi oleh bakteri denitrifikasi.



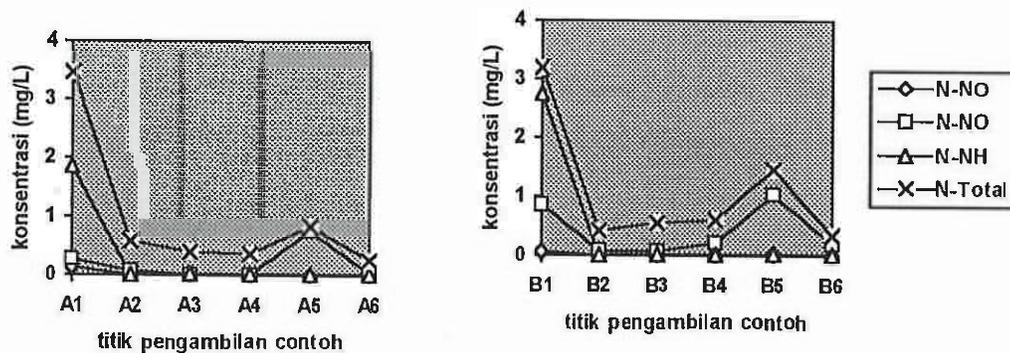
Gambar 12. Konsentrasi parameter N minggu ke-3 pada aliran bawah permukaan dan aliran permukaan

Proses nitrifikasi pada minggu ke-4 berjalan dengan baik (Gambar 13). Ini ditandai dengan meningkatnya kadar nitrat pada A5 dan B5 karena nitrat merupakan hasil akhir dari proses nitrifikasi. Dari proses nitrifikasi yang terjadi pada kolam ke-4, nitrat yang dihasilkan mengalir ke A5 dan B5. Karena pada kolam ke-5 sudah tidak ada lagi tanaman maka proses denitrifikasi yang dapat menguraikan nitrat tidak berlangsung. Sebagai akibatnya nitrat terakumulasi disini.



Gambar 13. Konsentrasi parameter N minggu ke-4 pada aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.

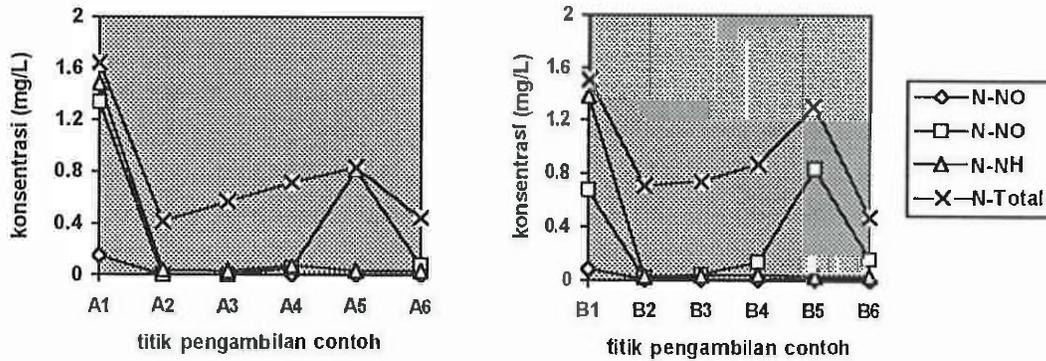
Proses nitrifikasi berlangsung baik pada minggu ke-5 karena konsentrasi amonium yang terbentuk semakin menurun sementara konsentrasi nitratnya meningkat pada wadah ke-5 kemudian menurun kembali di B6 karena terdapat sedikit tanaman *Lemna sp.* yang dapat mendukung proses denitrifikasi (Gambar 14).



Gambar 14. Konsentrasi parameter N minggu ke-5 pada aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.

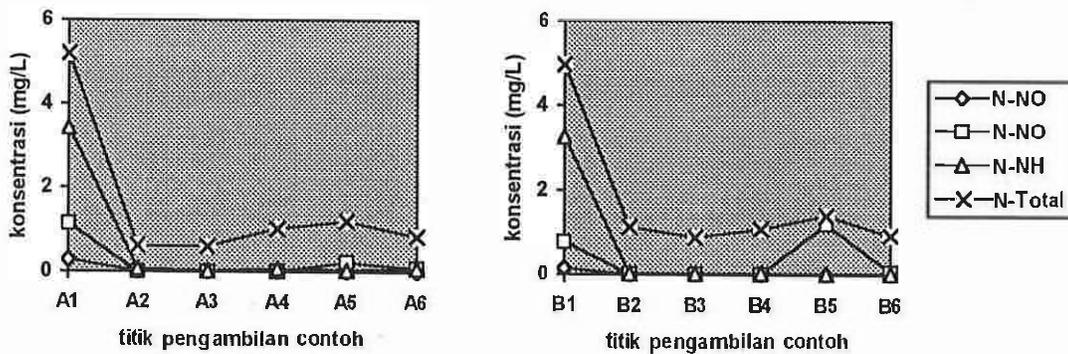
Pada minggu ke-6 terjadi penumpukan nitrat pada wadah ke-5 dan konsentrasi N-total yang terbentuk juga tinggi sekali jika dibandingkan dengan minggu sebelumnya (Gambar 15). Hal ini disebabkan oleh banyaknya senyawa nitrogen yang tidak terurai oleh bakteri karena kecepatan penguraian bakteri lebih kecil dari jumlah senyawa nitrogen yang ada pada air limbah. Konsentrasi N-total yang terukur jauh lebih tinggi dibandingkan minggu sebelumnya, hal ini mungkin disebabkan oleh terdapatnya senyawa nitrogen lain

misalnya N-organik dan N-anorganik yang tidak termasuk nitrit, nitrat, dan amonium tetapi terukur pada pengukuran N-total.



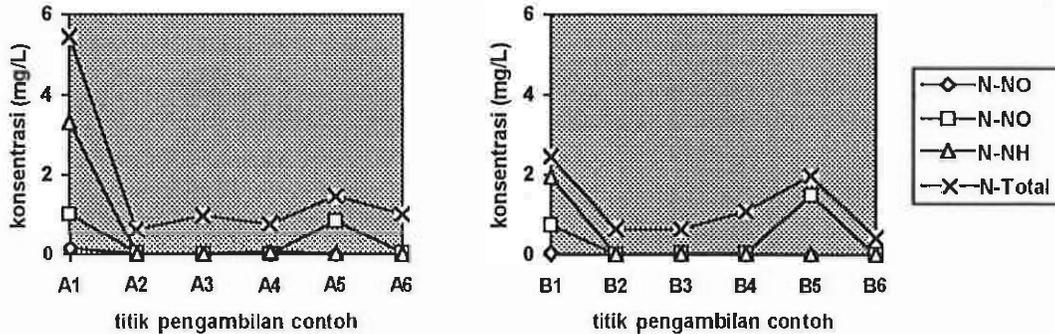
Gambar 15. Konsentrasi parameter N minggu ke-6 pada aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.

Pada minggu ke-7, proses nitrifikasi juga berlangsung baik (Gambar 16). Proses denitrifikasi juga berjalan karena setelah kolam ke-5 kadar nitratnya menurun. Penurunan ini disebabkan oleh adanya bakteri denitrifikasi yang menguraikan nitrat menjadi N_2 yang dibebaskan ke udara.



Gambar 16. Konsentrasi parameter N minggu ke-7 pada aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.

Proses nitrifikasi berjalan dengan baik pada minggu ke-8 yang ditandai dengan adanya peningkatan kadar nitrat pada A5 dan B5. Adanya penumpukan kadar nitrat ini mungkin disebabkan karena musim panas menyebabkan tangki penjernihan mengalami penguapan sehingga konsentrasi nitrat pada A5 dan B5 meningkat (Gambar 17).

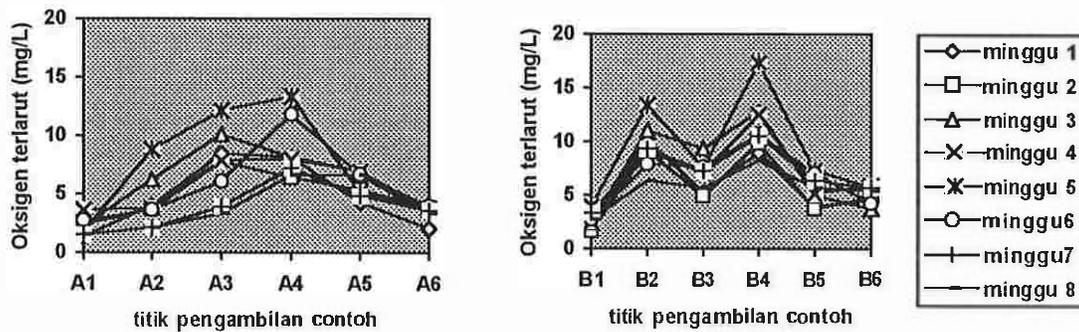


Gambar 17. Konsentrasi parameter N minggu ke-8 pada aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.

Oksigen terlarut

Kadar oksigen terlarut yang cenderung meningkat pada A2, A3, dan A4 disebabkan oleh adanya tanaman *Typha* sp. dan *Hydrilla* sp. yang akarnya menghasilkan oksigen pada siang hari (Gambar 18). Oksigen terlarut yang digunakan dalam penguraian nitrifikasi oleh bakteri menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut. Sedangkan A5 dan A6 adalah tangki penjernihan dan penampungan sehingga tidak terdapat penambahan oksigen.

Kadar oksigen terlarut pada B1 kecil karena adanya pencemar yang cukup tinggi sedangkan pada B2 kadar oksigen terlarut tinggi karena adanya tanaman yang akarnya menghasilkan oksigen pada waktu siang hari. Oksigen terlarut di B3 menurun kembali karena telah digunakan oleh bakteri untuk menguraikan senyawa di dalam limbah. Walaupun di B3 juga ada tanaman, tetapi kecepatan penguraian lebih besar dari produksi oksigen oleh tanaman sehingga oksigen terlarut yang terukur kecil. Pada kolam ke-4, terdapat tanaman *Hydrilla* sp. yang akarnya menghasilkan oksigen, sedangkan kadar senyawa limbah sudah menurun. Pada tahap ini kecepatan produksi oksigen lebih besar dari penguraian senyawa nitrogen oleh bakteri sehingga kadar oksigen terlarutnya meningkat.

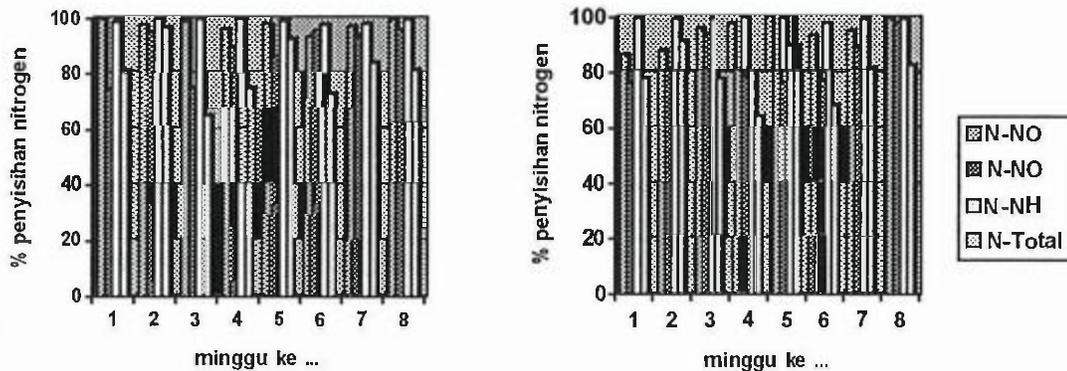


Gambar 18. Oksigen terlarut pada aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.

Efisiensi penyisihan nitrogen

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aliran bawah permukaan mampu menyisihkan N-NO_2^- sebesar 93-hampir 100%, N-NO_3^- sebesar 75-hampir 100%, N-NH_4^+ sebesar 98-hampir 100% dan N-Total sebesar 65-96%. Aliran permukaan mampu menyisihkan N-NO_2^- sebesar 86-hampir 100%, N-NO_3^- sebesar 77-98%, N-NH_4^+ sebesar 97-hampir 100% dan N-Total sebesar 64-91% (Gambar 19). Jika dilihat secara statistik, tidak ada perbedaan antara aliran permukaan dengan aliran bawah permukaan. Pada negara empat musim, penyisihan N-NO_2^- dan N-NO_3^- pada aliran permukaan sebesar 45%, N-NH_4^+ sebesar 34% dan N-Total sebesar 46%. Pada aliran bawah permukaan, penyisihan untuk N-NO_2^- dan N-NO_3^- sebesar 10%, N-NH_4^+ sebesar 22% dan N-Total sebesar 54% (Knight *et al.*, 1992).

Dari data percobaan dapat diambil kesimpulan bahwa aliran bawah permukaan lebih efisien dalam menyisihkan senyawa nitrogen dibandingkan dengan aliran permukaan. Hal ini disebabkan karena senyawa nitrogen dari air limbah pertama kali masuk ke dalam lapisan pasir dan kerikil. Lapisan ini berfungsi sebagai filter dan tempat menguraikan sebagian besar limbah oleh bakteri. Hasil penguraian bakteri tersebut diserap oleh akar tanaman sehingga air yang keluar di permukaan tidak lagi mengandung senyawa nitrogen. Pada aliran permukaan, aliran air hanya melewati akar-akar tanaman tanpa melewati pasir dan kerikil. Walaupun demikian, pada aliran ini penyisihannya juga cukup besar tetapi penyisihan pada aliran bawah permukaan lebih baik. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian lain di daerah empat musim, terbukti bahwa penyisihan nitrogen di lahan basah buatan daerah tropis lebih baik hasilnya. Salah satunya disebabkan oleh tidak terdapatnya musim dingin yang dapat mengganggu proses-proses penguraian oleh bakteri.



Gambar 19. Penyisihan nitrogen aliran bawah permukaan dan aliran permukaan.

Analisis Statistik

Tabel 1. Ringkasan Anova minggu ke 1-8

No	FAKTOR	db	JKT	F
1	Aliran	1	0.001194	1.28
	Bagian	5	0.050107	53.87 **
	Minggu	7	0.001920	2.06
2	Aliran	1	0.0464	0.37
	Bagian	5	16.3601	131.03 **
	Minggu	7	0.2153	1.72
3	Aliran	1	0.0002	0.00
	Bagian	5	3.3588	38.55 **
	Minggu	7	0.1553	1.78
4	Aliran	1	0.003	0.00
	Bagian	5	29.619	35.17 **
	Minggu	7	5.556	6.6

** alpha 1 %

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa :

- ❖ Antar aliran (aliran permukaan dan aliran bawah) tidak berbeda nyata
- ❖ Antar bagian (bagian 1 sampai bagian 6) berbeda nyata pada taraf alpha 1 %
- ❖ Antar minggu (minggu 1 sampai minggu 8) tidak berbeda nyata

N-NH₄⁺:

- ❖ Antar aliran (aliran permukaan dan aliran bawah) tidak berbeda nyata
- ❖ Antar bagian (bagian 1 sampai bagian 6) berbeda nyata pada taraf alpha 1 %
- ❖ Antar minggu (minggu 1 sampai minggu 8) tidak berbeda nyata

N-NO₃:

- ❖ Antar aliran (aliran permukaan dan aliran bawah) tidak berbeda nyata
- ❖ Antar bagian (bagian 1 sampai bagian 6) berbeda nyata pada taraf alpha 1 %
- ❖ Antar minggu (minggu 1 sampai minggu 8) tidak berbeda nyata

N-total:

- ❖ Antar aliran (aliran permukaan dan aliran bawah) tidak berbeda nyata
- ❖ Antar bagian (bagian 1 sampai bagian 6) berbeda nyata pada taraf alpha 1 %
- ❖ Antar minggu (minggu 1 sampai minggu 8) tidak berbeda nyata

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lahan basah buatan sangat mampu untuk mengolah air limbah laboratorium yang berada di Limnologi, LIPI. Kedua aliran yang digunakan yaitu aliran permukaan dan aliran bawah permukaan mampu untuk mengolah air limbah secara efektif, tetapi aliran bawah permukaan lebih cocok untuk penyisihan senyawa nitrogen. Lahan basah buatan di daerah tropis tampaknya lebih baik kemampuannya dalam menyisihkan senyawa-senyawa nitrogen.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA.** 1995. Standard Methods for the Examination and Wastewater. Ed. ke-19. Washington DC, USA.
- Brix, H.** 1994. Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Treatment in Europe. Elsevier, Amsterdam. hlm.325-334.
- Brix, H.** 1994. Functions of macrophytes in constructed wetland. *Wat. Sci. Tech.* 29:71-78.
- Crites, R. W.** 1994. Design Criteria and Practice for Constructed Wetland. *Wat. Sci. Tech.* 29(4):1-6.
- Denny, Patrick.** 1985. Wetland Vegetation and Associated Plant Life Forms: The Ecology and Management of African Wetland Vegetation. *W. Junk Publ. Dordrecht.* hlm.1-18.
- Gersberg, R., Elkins, B., Lyon, S. & Goldman, C.** 1984. Wastewater Treatment on Artificial wetlands. *Wat. Sci. Tech.* 17:443-450.
- Knight, R.L., Rubles, R.W., Kadlec, R.H., Redd, S.C.** 1992. Wetlands for Wastewater Treatment Performance Data Base. hlm. 35-38. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Limnologi LIPI.** 1987. Brosur Puslitbang Limnologi.
- Limnologi LIPI.** 1993. Brosur Puslitbang Limnologi.
- Meutia, A.** 2000. Treatment of Laboratory Wastewater in Subsurface and Surface Flows of Tropical Constructed Wetlands. Hlm. 1357-1364. Proceedings of the 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Florida, USA.
- Nichols, D.S.** 1983. Capacity of Natural Wetlands to Remove Nutrient from Wastewater. *J. Water Pollut. Control Fed.* 55:495-505.

- Reddy, K.R., Patrick, W.H., Lindau, C.W. 1989.** Nitrification-Denitrification at the Plant Root Sediment Interface. *Limnol. Oceanogr.* **34**:1004-10013.
- Wood, A. 1995.** Constructed Wetlands in Water Pollution Control: Fundamentals to their understanding. *Wat. Sci. Tech.* **32**(3):21-29.