

Transformasi Nitrogen secara Biologis di Air Panas Sarongsong Kota Tomohon

Frity Lisa Taroreh¹, Ferry Karwur^{1,2}, Jubhar Mangimbulude^{3*}

¹Program Pascasarjana Magister Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana

²Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Satya Wacana

³Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Ilmu Alam dan Rekyasa Teknologi, Universitas Halmahera, Tobelo, Halmahera Utara.

*E-mail: christianjubhar@yahoo.com

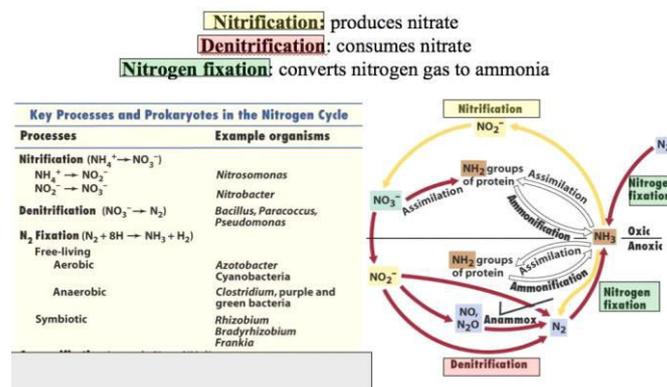
Abstract

Nitrogen transformation is the alteration process of nitrogen compounds from one form to another occurred in the nature. The transformation can even occur in an extreme environment, such a hot springs, and get through processes, including amonification, nitrification and denitrification. The research objective was to determine the hydrochemicals/ characteristics of water physically and chemically, as well as to determine whether nitrogen transformation occurred through the processes of amonification, nitrogen, nitrification and denitrification in Sarongsong hot spring. Samples in the research were taken from Sarongsong Hot spring, Tomohon City at three different stations and were grouped in two: aerobic and anaerobic. This research was undertaken in CARC laboratory, master's program of biology, SWCU, Salatiga. The level of ammonium, nitrite and nitrate at three stations (S1, S2, S3) at early period of the research were measured. Levels of ammonium, nitrite, and nitrate at S1 respectively are: 4.85mg/ L; 0.00mg/ L; 0.00mg/ L; at S2: 2.45mg/ L; 0.00mg/ L; 0.00mg/ L; on S3: 4.37mg/ L; 0.00mg/ L; 0.00mg / L. following 7 days of treatment, levels of ammonium, nitrite and nitrate in S1, S2, S3 at the condition of the aerobic and anaerobic has altered in concentration, that is an indication of nitrogen transformation process (amonification process) in Sarongsong hot spring, Tomohon City.

Keywords: nitrogen transformation, amonification, nitrification, denitrification

Pendahuluan

Senyawa nitrogen merupakan senyawa yang sangat penting dalam kehidupan, karena merupakan salah satu nutrisi utama yang berperan dalam pertumbuhan organisme. Senyawa nitrogen juga merupakan komponen dasar protein (Herlambang & Marsidi, 2003). Keberadaan nitrogen di alam, tersedia dalam berbagai bentuk yang dihasilkan melalui proses (transformasi) yang difasilitasi oleh mikroorganisme (umumnya bakteri) bagaikan suatu siklus (Gambar 1). Siklus nitrogen dalam meliputi proses fiksasi nitrogen, amonifikasi, nitrifikasi, dan denitrifikasi. Siklus nitrogen sangat dibutuhkan dalam ekologi karena ketersediaan nitrogen di alam dapat mempengaruhi keberlanjutan ekosistem. Sejumlah studi melaporkan bahwa transformasi nitrogen di alam dapat terjadi pada berbagai kondisi ekosistem, termasuk pada ekosistem ekstrim seperti daerah bersalju maupun daerah yang memiliki temperatur tinggi.



Gambar 1. Siklus Nitrogen (Madigan *et al.*, 2009. *Brock Biology of Microorganism*)

Proses Nitrifikasi

Nitrifikasi merupakan proses pengubahan nitrogen ammonium ($N-NH_4$) secara biologis menjadi nitrogen-nitrit ($N-NO_2$) oleh bakteri nitrosomonas dan kemudian nitrit diubah menjadi nitrat (NO_3) oleh bakteri nitrobater (Widayat dkk, 2010) (Gambar 1a). Proses nitrifikasi akan berlangsung dalam lingkungan *aerob* (adanya oksigen). Proses nitrifikasi (perubahan ammonium menjadi nitrat) dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu aerasi, suhu, kelembaban, pH, dan nisbah karbon-nitrogen. Proses nitrifikasi biasanya berlangsung pada pH 5,5 hingga pH 10, dan optimum pada pH 8,5 (Damanik dkk, 2011).

Proses Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah proses perubahan senyawa nitrat (NO_3) menjadi gas nitrogen (N_2). Bakteri yang bekerja pada proses denitrifikasi adalah bakteri anaerobik, yaitu bakteri yang tidak memerlukan oksigen dalam aktivitasnya, bahkan kehadiran oksigen dapat menyebabkan bakteri ini mati. Reaksi denitrifikasi senyawa nitrat adalah sebagai berikut : $NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$ (Herlambang & Marsidi, 2003).

Reaksi reduksi senyawa nitrat menjadi nitrogen memerlukan senyawa karbon organik sebagai sumber elektron (elektron donor). Mikroorganisme yang mampu melakukan denitrifikasi berasal dari genera : Pseudomonas, Bacillus, Spirillum, Hyphomicrobium, Agrobacterium, Acinetobacter, Propionobacterium, Rhizobium, Corynebacterium, Cytophaga, Thiobacillus dan Alcaligenes. Genera Pseudomonas (*P.fluorescens*, *P.aeruginosa*, *P.denitrificans*) dan Alcaligenes merupakan yang paling banyak terlibat (Herlambang & Marsidi, 2003). Proses denitrifikasi paling efektif pada pH antara 7,0 dan 8,5 dan optimal sekitar 7,0 (Kida, dkk, 1999). Alkalinity dan pH naik selama terjadi denitrifikasi.

Proses Amonifikasi

Amonifikasi adalah proses pembentukan amonium oleh bakteri. Selain dari hasil fiksasi nitrogen, amonium juga dapat terbentuk dari dekomposisi (penguraian) organisme yang sudah mati baik tumbuhan ataupun hewan oleh bakteri. Amonifikasi juga dapat terjadi akibat aktivitas bakteri yang merubah nitrogen organik menjadi amonium. Proses amonifikasi dari senyawa *N*-organik pada prinsipnya merupakan reaksi penguraian protein. Secara umum reaksinya adalah: protein \rightarrow asam amino $\rightarrow NH_3$.

Nitrifikasi, denitrifikasi dan amonifikasi merupakan bagian dari siklus nitrogen yang turut berperan dalam rangkaian 'feedback' yang mengatur iklim, pembentukan sedimen biogenik, dan kadar beberapa bahan kimia dalam sumber air panas.

Salah satu sumber air panas sebagai "lambung mikroba" yang juga berperan dalam transformasi nitrogen adalah air panas Sarongsong di Tomohon, Sulawesi Utara. Pada penelitian ini transformasi nitrogen difokuskan pada proses nitrifikasi, denitrifikasi dan amonifikasi.

Adapun tujuan penelitian ini adalah (1) mengetahui hidrokimia/ karakteristik air panas Sarongsong secara kimia dan fisik yang diambil ditiga stasiun yang berbeda dan diberi nama stasiun satu (S1), stasiun dua (S2) dan stasiun tiga (S3) dan (2) mengetahui apakah terjadi transformasi nitrogen melalui proses amonifikasi, nitrifikasi dan denitrifikasi di air panas Sarongsong.

Metode Penelitian

Sampel dalam penelitian ini adalah air panas Sarongsong Kota Tomohon, Sulawesi Utara yang diambil di tiga stasiun berbeda yang diberi nama S1, S2, S3.



Gambar 2. Lokasi pengambilan sampel di air panas Sarongsong

Pengambilan Sampel

Lihat Gambar 2, lokasi titik 1 adalah kolam air panas tempat pengambilan air minum. Di titik 1 ini diambil S1 dan S2 dengan pengambilan berbeda. S1 adalah sampel air panas bagian atas yang jernihnya, S2 adalah sampel air



panas yang agak keruh (*mix*). S3 diambil di lokasi titik 2 yaitu air panas diluar kolam tempat pengambilan air minum, yang airnya paling keruh. Dari setiap stasiun S1,S2,S3 diambil sekitar 600mL sampel dan dimasukkan dalam botol plastik air minum kemasan, ditutup rapat, diberi label (S1/S2/S3), dibungkus dengan kantong plastik hitam, kemudian dibawa ke laboratorium CARC. Di laboratorium CARC sampel disimpan dalam oven pada temperatur 60°C sebelum dianalisa lebih lanjut.

Pengukuran kadar ammonium, nitrit, nitrat (diawal penelitian). Masing-masing sampel dari tiap stasiun diambil 10mL untuk kondisi aerob (control) dan anaerob (perlakuan) dan dimasukkan dalam botol kaca berukuran 150mL. Pengukuran kadar ammonium, nitrit dan nitrat diawal penelitian diukur menggunakan metode Nessler, kolorisasi dan asam salisilat. Selanjutnya diamati menggunakan spektrofotometer masing-masing pada panjang gelombang 425 nm, 520 nm, 410 nm (Alef dan Nanipieri, 1995; Kruis 1994)

Reaktor dirancang dari botol kaca kemasan berkapasitas 150mL yang dimasukkan kedalam waterbath yang berisi air dengan T=60°C. Enam botol kaca, yang berisi sampel stasiun: S1,S2,S3 masing-masing stasiun terdiri dari 2 botol, dipisahkan menjadi 2 kelompok: control (*aerob*) dan perlakuan (*anaerob*).

Uji Transformasi Nitrogen pada kondisi Anaerob

Uji transformasi nitrogen pada kondisi anaerob dilakukan dengan prosedur sebagai berikut: 50ml sampel yang diperoleh dari 3 titik sampel yang berbeda (S1,S2 dan S3) masing-masing dimasukan ke dalam 3 botol berukuran 150ml secara terpisah. pH di atur menjadi netral (sekitar pH 7) dengan penambahan 0,1 M NaOH atau 0,1 M HCl. Kemudian pada masing-masing botol berisi sampel S1,S2,S3 tersebut, ditambahkan 1 g CaCO₃ dan NO₂ sebanyak kadar ammonium-nya (masing-masing 5 mg) untuk nutrisi pertumbuhan bakteri autotroph. Dan untuk membuat kondisi kultur menjadi anaerob, ke dalam botol kultur diekspos dengan gas nitrogen selama 5 menit, kemudian ditutup rapat. Kultur diinkubasi pada temperatur 60°C dalam water bath selama 7 hari. Sampling dilakukan pada hari ke-7 untuk mengukur konsentrasi amonium, nitrat dan nitrit. Pengurangan ammonium, nitrat dan nitrit mengindikasikan berlangsungnya proses anammox atau denitrifikasi. Sebaliknya jika hanya terjadi peningkatan ammonium mengindikasikan proses amonifikasi anaerobik.

Uji Transformasi Nitrogen pada Kelompok Aerob (sebagai kontrol)

Uji transformasi nitrogen pada kondisi aerob dilakukan dengan prosedur sebagai berikut: 50ml sampel yang diperoleh dari 3 titik sampel yang berbeda (S1,S2 dan S3) masing-masing dimasukan ke dalam 3 botol berukuran 150ml secara terpisah. Pada sampel S1,S2,S3 dibiarkan secara alami, tanpa penambahan 0,1 M NaOH atau 0,1 M HCl, tanpa penambahan 1 g CaCO₃ dan NO₂ dan tidak diekspos dengan gas N₂ seperti pada kelompok anaerob. Kultur diinkubasi pada temperature 60°C dalam water bath selama 7 hari. Sampling dilakukan pada hari ke-7 untuk mengukur konsentrasi amonium, nitrat dan nitrit. Pengurangan ammonium, nitrit dan peningkatan konsentrasi nitrat mengindikasikan berlangsungnya proses nitrifikasi. Sebaliknya jika hanya terjadi peningkatan ammonium mengindikasikan proses amonifikasi aerobik.

Analisis kadarammonium, nitrit dan nitrat (akhir)

Kadar ammonium, nitrit, nitrat diukur menggunakan metode Nessler, kolorisasi dan asam salisilat. Selanjutnya pengukuran dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer masing-masing pada panjang gelombang 425 nm (ammonium), 520 nm (nitrit), 410 nm (nitrat).

Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Hidrokimia sampel air panas Sarongsong

Hidrokimia sampel air panas Sarongsong yang diambil dari 3 stasiun berbeda (S1,S2 dan S3) dapat dilihat dari karakteristik warna air, bau, padatan terendap, suhu, konsentrasi sulfat dan pH. Pada stasiun satu (S1): warna airnya jernih, sedikit bau busuk, tidak ada padatan terendap, sementara pada stasiun dua (S2): warna airnya keruh, sedikit berbau busuk, padatan terendapnya sedikit, dan pada stasiun tiga (S3): warna airnya sangat keruh, sangat berbau telur busuk, padatan terendap banyak.

Tabel 1. Hidrokimia di S1, S2, S3

Stasiun	Warna air	Bau telur busuk	Padatan terendap	pH	T (°C)	Sulfat (mg/L)	Amonium (mg/L)
S1	jernih	sedikit	-	8,33	60	3,5	4,85
S2	keruh	bau	sedikit	7,73	60	11	2,45
S3	sangat keruh	sangat berbau	banyak	3,34	56	35	4,37



Konsentrasi sulfat pada tiga stasiun bervariasi, pada S1 lebih kecil dibandingkan S2 dan S3. Sementara untuk temperatur relatif sama pada ketiga stasiun, dan pH di S3 bersifat asam dibandingkan dengan S2 dan S1 yang cenderung netral (Lihat Tabel 1). Kadar nitrogen yang terdeteksi hanya dalam bentuk amonium sedangkan nitrit dan nitrat tidak terdeteksi (konsentrasi = 0 mg/L).

Uji transformasi nitrogen

Pengamatan apakah terjadi transformasi nitrogen secara biologis melalui proses nitrifikasi, denitrifikasi, dan amonifikasi pada setiap stasiun di Air Panas Sarongsong dapat dilihat dari perbandingan kadar ammonium, nitrit dan nitrat di awal dan akhir penelitian. Hasil penelitian transformasi nitrogen di air panas Sarongsong dalam kondisi aerobik dan anaerobik selama 7 hari inkubasi menunjukkan hasil yang bervariasi seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Transformasi Nitrogen di Air Panas Sarongsong dalam Kondisi Aerob dan Anaerob

	Amonium (NH ₄ ⁺) mg/L						Nitrit (NO ₂ ⁻) mg/L			Nitrat (NO ₃ ⁻) mg/L								
	S1		S2		S3		S1	S2	S3	S1	S2	S3						
A ₀	4,85		2,45		4,37		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
A _t	2,51	9,99	6,83	9,11	5,13	9,11	0,00	123,27	0,00	95,55	0,17	115,47	34,96	0,00	33,28	1,95	23,83	0,00
	Δ	●	Δ	●	Δ	●	Δ	●	Δ	●	Δ	●	Δ	●	Δ	●	Δ	●

Ket : A₀ = awal, A_t = akhir, Δ = Zona Aerob ● = Zona Anaerob

Pada Zona Aerob

Dalam penelitian ini, pengurangan ammonium yang signifikan hanya terjadi pada sampel di stasiun satu (S1) saja yaitu dari 4,85 mg/L menjadi 2,51/L, sedangkan di S2 dan S3 kadar amonium justru meningkat. Pada S2 dari 2,45 mg/L menjadi 6,83 mg/L, dan di S3 dari 4,37 mg/L menjadi 5,13 mg/L. Pengurangan amonium di stasiun satu diduga dikonsumsi oleh bakteri heterotropik (bukan karena proses nitrifikasi) itu diperkuat karena di S1 tidak terjadi peningkatan nitrit atau nitrat sebagai senyawa antara dan produk akhir dari proses nitrifikasi.

Peningkatan kadar ammonium pada S2 dan S3 di zona aerob ini menjadi tanda terjadinya proses amonifikasi. Aktivitas bakteri pengamonifikasi di S2 lebih besar dari S3, hal ini terlihat dari jumlah kenaikan ammonium di S2 sebesar 4,38 mg/L sedangkan di S3 0,76 mg/L. Peningkatan ammonium dalam kondisi aerobik, berasal dari proses amonifikasi, artinya ada kemungkinan sisa-sisa protein dari sel bakteri yang mati terurai dan akhirnya menghasilkan ammonium. Sejalan dengan teori bahwa proses amonifikasi dari senyawa N-organik merupakan reaksi penguraian protein. Secara umum reaksinya adalah: protein → asam amino → NH₃.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa nitrifier (autotrof) seringkali kalah bersaing dengan heterotrof dalam menggunakan sumber nitrogen. Bakteri heterotrof memiliki laju pertumbuhan yang lebih tinggi (dari bakteri autotrof) karena dengan pengambilan nutrisi secara langsung akan lebih cepat dibandingkan dengan bakteri autotrof yang menyusun nutrisinya sendiri terlebih dahulu (Nindrasari dkk, 2011). Ada kecenderungan bakteri heterotrof lebih cepat menggunakan n-organik sehingga melepaskan ammonium, ketika organik berkurang. Proses nitrifikasi biasanya berlangsung dalam waktu lebih dari satu minggu. Dengan demikian itu alasan mengapa nitrifikasi tidak terlihat dalam hasil eksperimen ini. Dalam konteks ekosistem, dimana siklus nitrogen dapat berlangsung, sesungguhnya dengan terjadinya amonifikasi, akan diikuti juga dengan proses transformasi nitrogen lainnya seperti nitrifikasi atau denitrifikasi.

Pada Zona Anaerob

Dalam penelitian ini, ammonium tidak berkurang, bahkan cenderung meningkat. Dugaannya terjadi akibat proses amonifikasi anaerob. Reaksi amonifikasi terjadi dalam kondisi anaerob di tiga stasiun dengan jumlah kenaikan ammonium berturut-turut untuk S1, S2, S3 adalah 5,14 mg/L; 6,66 mg/L; 4,74 mg/L. Kenaikan ammonium di S2 adalah yang paling besar, hal ini mengindikasikan bahwa aktivitas bakteri pengamonifikasi di S2 lebih besar dari S1 dan S3.

Amonifikasi dapat berlangsung dalam kondisi anaerobik maupun aerobik. Pada penelitian ini amonifikasi secara aerob terjadi di S2 dan S3 dan aktivitas bakteri pengamonifikasi yang terbesar terjadi di S2. Amonifikasi secara anaerob terjadi di tiga stasiun: S1, S2, S3 dan aktivitas bakteri pengamonifikasi yang terbesar terjadi di S2 juga.

Pada penelitian ini, proses transformasi nitrogen yang terlihat adalah melalui amonifikasi sedangkan proses nitrifikasi dan denitrifikasi belum terlihat secara signifikan. Hal ini diduga berhubungan dengan waktu inkubasi yang relatif singkat sehingga proses denitrifikasi kemungkinan belum terjadi. Namun adanya proses amonifikasi di air panas Sarongsong ini memberikan peluang besar bagi kehadiran bakteri autotrof. Proses amonifikasi merupakan inisiasi bagi dinamika autotrof lain khususnya dalam siklus nitrogen di alam, sehingga direkomendasikan (bagi peneliti yang lain) yang ingin menguji proses transformasi nitrogen melalui proses denitrifikasi di Air Panas Sarongsong ini untuk memperhatikan masa inkubasi (yang lebih lama) dengan pengukuran secara *time series*.



Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

- Karakteristik hidrokimia air panas Sarongsong di tiga stasiun S1, S2, dan S3 adalah sebagai berikut: Pada stasiun satu (S1): warna airnya jernih, sedikit bau busuk, tidak ada padatan terendap, sedangkan di stasiun dua (S2): warna airnya keruh, sedikit berbau busuk, padatan terendapnya sedikit, dan di stasiun tiga (S3): warna airnya sangat keruh, sangat berbau telur busuk, padatan terendap banyak.
- Transformasi nitrogen secara biologis terjadi di sumber air panas Sarongsong melalui proses amonifikasi aerob terjadi di S2 dan S3. Pada kondisi anaerob terjadi proses amonifikasi anaerob di tiga stasiun S1, S2, S3 dan aktivitas bakteri pengamonifikasi yang paling besar terjadi di S2. Transformasi nitrogen melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi belum terlihat secara signifikan. Hal ini diduga berhubungan dengan waktu inkubasi yang relatif singkat. Namun adanya proses amonifikasi di air panas Sarongsong ini memberikan peluang besar bagi kehadiran bakteri autotrof.
- Rekomendasi bagi peneliti yang ingin menguji proses transformasi nitrogen melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi di Air Panas Sarongsong ini untuk memperhatikan masa inkubasi (yang lebih lama) dengan pengukuran secara *time series* agar proses nitrifikasi dan denitrifikasi dapat terlihat secara signifikan.

Ucapan Terima Kasih

Frity Lisa Taroreh mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Kota Tomohon melalui Dinas Pendidikan Daerah Kota Tomohon yang telah memberikan beasiswa bekerjasama dengan Program Magister Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga.

Daftar Pustaka

- Anggrahini Novia. Dinamika N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ dan Potensial Nitrifikasi Tanah di Alfisols, Jumantoro dengan berbagai perlakuan kualitas seresah. Skripsi. Surakarta: Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret. 2009.
- Anthonisen AC, Loehr RC, Prakasam TB, and Srinath EG. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. *J Water Pollut. Control Fed.* 1976; 48(5):835-52.
- Barnes D, and PJ Blisse. *Biological Control of Nitrogen In Wastewater Treatment*. London. 1980.
- Cristensen MH, and P Harremoës. *Nitrification and Denitrification in Wastewater microbiology*. New York : Mitchell, ed. Wiley. 1978.
- Damanik MMB, Hasibuan BE, Fauzi, Sarifuddin, Hanum H. *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*, Medan : USU Press, 2011.
- Grady CPL, and HC Lim. *Biological Wastewater Treatment: Theory & Application*. New York : Marcell Dekker. Inc. 1980.
- Herlambang A dan Marsidi R. 2003. Proses Denitrifikasi dengan System Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Nitrat. *J. Tek. Ling. P3TL-BPPT*. 2003; 4(1):46-55
- Kida K, S. Morimura, Y Mochinaga, and M Tokuda. Efficient Removal of Organic Matter and NH₄⁺ from Pot Ale by a Combination of Methane Fermentation and Biological Denitrification and Nitrification Process. *Journal of Process Biochem.* 1999; 34:567-569
- Madigan Michael T, Martinko John M, Dunlap Paul V, and Clark David P. *Brock Biology of Microorganisms*. Twelfth Edition. San Fransisco : Pearson International Edition., 2009.
- Marsidi R dan Herlambang A. Proses Nitrifikasi dengan Sistem Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah yang mengandung Amoniak Konsentrasi Tinggi. *Jakarta: J. Tek. Ling.* 2002; 3(3):195-204.
- Munawar Ali. *Rembesan Air Lindi (Leachate) Dampak pada Tanaman Pangan dan Kesehatan*. Surabaya : UPN Press, 2011
- Nindrasari G, Meitiniarti Irene, Mangimbulude J. 2011. Pengurangan ammonium dengan Metode Nitrifikasi dan Anammox pada Air Lindi dari Tempat Pembuangan Akhir Jatibarang Semarang. *Prosiding Seminar Biologi, Sains, Lingkungan, dan Pembelajarannya Menuju Pembangunan Karakter*. C031. 2011: 192-195
- Widayat Wahyu, Suprihatin, Herlambang A. 2010. Penyisihan Amoniak dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Air Baku PDAM-IPA Bojong Renged dengan Proses Biofiltrasi Menggunakan Media Plastik Tipe Sarang Tawon. *JAI*. 2010; 6 (1)





Lembar Tanya Jawab
Moderator : Akbarningrum Fatmawati (Universitas Surabaya)
Notulen : Retno Ringgani (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Hargono (UNDIP)
Pertanyaan : Apa yang melatarbelakangi penelitian ini dilakukan?
Jawaban : Untuk mengetahui adanya bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi yang nantinya apabila bakteri tersebut memang ada akan sangat bermanfaat pada pengolahan limbah. Karena bakteri tersebut bisa menguraikan limbah.

2. Penanya : Akbarningrum (UBAYA)
Pertanyaan : Dari mana nitrogen/sumber nitrogen di awal penelitian?
Jawaban : Memang berasal dari internal lokasi tersebut (air panas Sarongsng Sulut)

