

**EFEKTIVITAS PEMBERIAN UDARA BERKECEPATAN TINGGI DALAM
MENURUNKAN POLUTAN LEACHATE TPA SAMPAH: STUDI KASUS DI TPA
SAMPAH GALUGA KOTA BOGOR**

***(The Effectiveness of High Speed Aeration to Reduce Pollutant from Final
Waste Disposal Leachate: Case Study at Galuga Final Waste Disposal Site
(TPA) Bogor City)***

**Nurhasanah¹⁾, Latifah K. Darusman²⁾,
Surjono Hadi Sutjahjo³⁾, dan Bibiana Widiati Lay²⁾**

ABSTRACT

A laboratory scale research to obtain environmentally safe effluent from Final Waste Disposal Site leachate in Galuga owned by Regional Government of Bogor City was conducted from July 2006 through to April 2007. The experiment of production tolerable threshold effluent was carried out by aerating the leachate in 4 different aeration rates (0, 10, 30 and 70 liters/minute). The research found that the most effective method to reduce pollutant was aerating at the rate of 70 liters/minutes. However, only some of pollutant (Cu, Zn, Pb and E.coli) can be reduced until below tolerable threshold.

Keywords: effluent, leachate, tolerable threshold

PENDAHULUAN

Lindi merupakan cairan limbah yang dihasilkan dari timbunan sampah. Umumnya lindi mengandung bahan organik, bahan inorganik, dan mikroorganisme. Hasil perombakan bahan organik oleh mikroorganisme yang berupa gas-gas (CH₄, NH₃, dan H₂S) merupakan sumber penyebab bau, sedangkan bahan inorganik yang terdapat dalam lindi dapat berupa logam-logam terlarut. Jika berada dalam jumlah di atas baku mutu dan masuk ke badan-badan air, bahan-bahan tersebut dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Untuk menghilangkan/menurunkan bahan-bahan tersebut, salah satu alternatifnya adalah melalui pengolahan aerasi. Menurut Siregar (2005), pengolahan yang dapat menghilangkan gas-gas yang berbau dari lindi dalam waktu yang relatif singkat dapat dilakukan dengan cara mengalirkan udara ke dalam lindi dengan kecepatan tinggi. Cara ini memiliki kelebihan, di antaranya, (1) dapat mengoksidasi langsung bahan-bahan penyebab bau menjadi bahan-bahan yang relatif aman bagi lingkungan, (2) dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme aerobik dan fakultatif dalam mendegradasi bahan organik penyebab bau menjadi sel-sel tubuhnya (Mulia, 2005), (3) dapat mengendapkan logam-logam terlarut (Said *et al.*, 2009), dan (4) dapat menurunkan jumlah bakteri patogen yang diindikasikan oleh penurunan jumlah *E. coli* (Purwanti *et al.*, 2003).

Pengolahan dengan mengalirkan udara (aerasi) pada lindi telah banyak dilakukan untuk menurunkan polutan lindi sebelum lindi dialirkan ke lingkungan.

¹⁾ Jurusan Agribisnis, FMIPA, Universitas Terbuka

²⁾ Departemen Kimia, FMIPA, IPB

³⁾ Departemen Agronomi, Faperta, IPB

Selama pengolahan, kadar polutan dalam lindi yang diproses mengalami perubahan yang diindikasikan oleh nilai *total dissolve solute* (TDS) (Manik, 2007).

Menurut Brawono (2004), pengolahan lindi yang dihasilkan dari TPA sampah Bantargebang dengan cara aerasi belum dilakukan secara maksimal, hal ini ditunjukkan oleh kualitas efluen yang dihasilkan dari Instalasi Pengolahan Air Limbah berada di atas baku mutu yang dipersyaratkan hingga menyebabkan pencemaran tanah, air tanah, dan sungai di sekitar TPA Sampah. Sementara itu, TPA sampah Galuga milik Pemda Kota Bogor yang berada di wilayah dengan curah hujan yang cukup tinggi menghasilkan lindi dalam jumlah yang cukup besar. Permasalahan utama yang terjadi di TPA sampah Galuga adalah pencemaran yang disebabkan oleh lindi akibat pengelolaan lindi yang kurang memadai sehingga lindi yang masuk ke persawahan dan badan-badan air masih mengandung polutan di atas baku mutu yang mengakibatkan masyarakat di sekitar TPA sampah tersebut mengalami kerugian (LPPM IPB, 2008).

Jika pencemaran oleh lindi di TPA sampah Galuga terus dibiarkan, dikhawatirkan timbul keresahan masyarakat sekitar TPA sampah yang berujung pada penolakan masyarakat atas keberadaan TPA sampah di wilayahnya. Guna menjaga agar TPA sampah tetap lestari, sistem pengolahan lindi harus diperbaiki hingga pengolahan lindi menghasilkan efluen sesuai baku mutu.

Untuk mendapatkan pengolahan aerasi yang paling efektif dalam menurunkan polutan lindi TPA sampah, perlu dilakukan penelitian dengan memberikan udara pada lindi pada beberapa tingkat laju aerasi. Penelitian ini diharapkan dapat menentukan laju aerasi yang mampu menghasilkan polutan sesuai baku mutu. Selanjutnya, dengan menerapkan pengolahan dengan cara ini dalam pengelolaan lindi di TPA sampah dapat mengurangi bahkan menghindari terjadinya pencemaran pada badan-badan air yang disebabkan oleh lindi. Hal ini penting mengingat pencemaran yang diakibatkan oleh lindi di beberapa TPA sampah di Indonesia masih saja terus terjadi sebagai akibat pengolahan lindi yang dilakukan oleh pengelola TPA sampah belum dilakukan secara maksimal hingga efluen yang dihasilkan masih mengandung polutan di atas baku mutu.

Tujuan penelitian ini adalah (1) mendapatkan laju aerasi yang paling efektif dalam menurunkan polutan lindi dan (2) mengkaji kesesuaian kualitas efluen yang dihasilkan dari pengolahan yang paling efektif dalam menurunkan polutan lindi berdasarkan baku mutu.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium dan rumah kaca Biotrop pada bulan Juli sampai dengan bulan September 2006.

Bahan dan Alat

Lindi yang diteliti, diambil dari bak pengumpul di Instalasi Pengolah Limbah (IPAL) yang ada di tempat pembuangan akhir (TPA) sampah Galuga milik Pemda Kota Bogor dengan menggunakan kantong plastik berukuran 60 cm x 90 cm (Gambar 1).

Alat-alat

Alat dan bahan yang digunakan adalah drum plastik yang telah diberi 2 buah kran (Gambar 2), kompresor (Tipe LZU-5114), nozzle (*air stone*), rotameter, TDS meter, dan pH meter.



Gambar 1. Kantong plastik berisi lindi



Gambar 2. Drum plastik yang digunakan dalam penelitian

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan dalam percobaan ini adalah rancangan acak lengkap (RAL) 1 faktor (4 laju aerasi), yakni 0 liter/menit, 10 liter/menit, 30 liter/menit, dan 70 liter/menit dengan 2 ulangan.

Pelaksanaan

Pada drum plastik (Gambar 2) dimasukkan lindi sebanyak 160 liter. Kemudian udara yang berasal dari kompresor dialirkan ke dalam drum tersebut melalui selang yang ujungnya telah diberi 3 buah nozzle (*air stone*) dengan tingkat laju aerasi sesuai perlakuan (0, 10, 30, dan 70 liter/jam). Besar laju udara (aerasi) yang keluar dari kompresor diukur dengan menggunakan rotameter. Aerasi dilakukan selama 15 jam. Untuk mendapatkan gambaran terhadap perubahan yang terjadi selama proses aerasi, dilakukan pengukuran pada beberapa parameter.

Parameter yang Diukur

Parameter yang diukur tiap jam selama 6 jam dari efluen yang dikeluarkan dari kran atas terdiri dari *dissolve oxygen* (DO), nilai TDS, dan pH. Parameter yang diukur tiap jam selama 15 jam dari efluen yang dikeluarkan dari kran atas adalah nilai MLVSS. Parameter yang diukur pada $t = 6$ jam pada efluen yang dikeluarkan dari kran atas terdiri dari BOD_5 , COD, NH_3 , H_2S , *E. Coli*, dan logam terlarut (Cu, Zn, Mn, Fe, Pb, Cd, dan Cr). Parameter yang diukur pada $t = 6$ jam pada efluen yang diambil dari kran bawah terdiri dari Cu, Zn, Mn, Fe, Pb, Cd, dan Cr. Pengambilan sampel dari kran bawah dilakukan setelah efluen dari kran atas dikeluarkan semua.

Metode Analisis

Metode analisis yang digunakan untuk mengukur parameter yang diteliti terdapat pada Tabel 1.

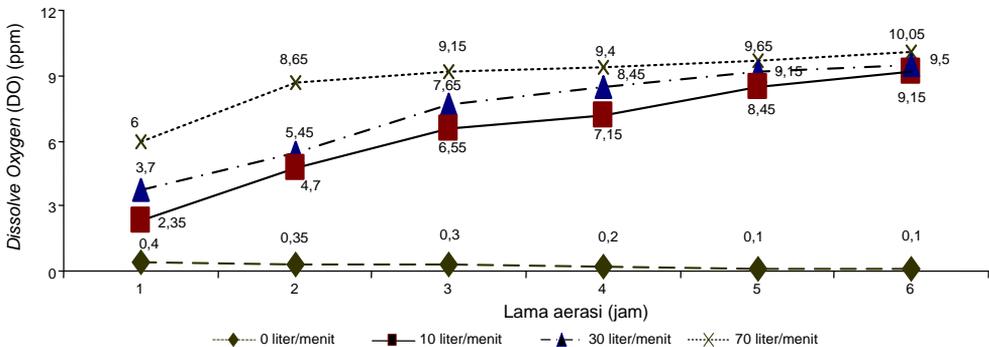
Tabel 1. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian

| No. | Parameter | Metode analisis | No. | Parameter | Metode analisis |
|-----|------------------------|-------------------|-----|---------------|-----------------|
| 1. | DO (ppm) | DO meter | 9. | Cu (ppm) | AAS |
| 2. | Nilai MLVSS | Gravimetrik | 10. | Zn (ppm) | AAS |
| 3. | Nilai TDS (ppm) | TDS meter | 11. | Mn (ppm) | AAS |
| 4. | pH | pH meter | 12. | Fe (ppm) | AAS |
| 5. | BOD (ppm) | Winkler inkubasi | 13. | Pb (ppm) | AAS |
| 6. | COD (ppm) | Bikromat refluks | 14. | Cd (ppm) | AAS |
| 7. | H ₂ S (ppm) | Spektrofotometrik | 15. | Cr (ppm) | AAS |
| 8. | NH ₃ (ppm) | Spektrofotometrik | 16. | E. coli (MPN) | MPN |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Tingkat Laju Aerasi terhadap Dissolve Oxygen (DO)

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa dari keempat laju aerasi yang dicobakan, ternyata pengolahan melalui pemberian udara pada laju 70 liter/menit menyebabkan kadar oksigen terlarut (DO) tertinggi yang berlangsung dari jam ke-1 hingga jam ke-6 (Gambar 3). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan pemberian udara pada laju 70 liter/menit dapat menyebabkan jumlah oksigen yang berkontak dengan lindi yang diolah lebih besar hingga mengakibatkan konsentrasi oksigen yang terlarut pada lindi menjadi paling tinggi jika dibandingkan dengan pemberian udara pada laju 30, 10 dan 0 liter/menit.



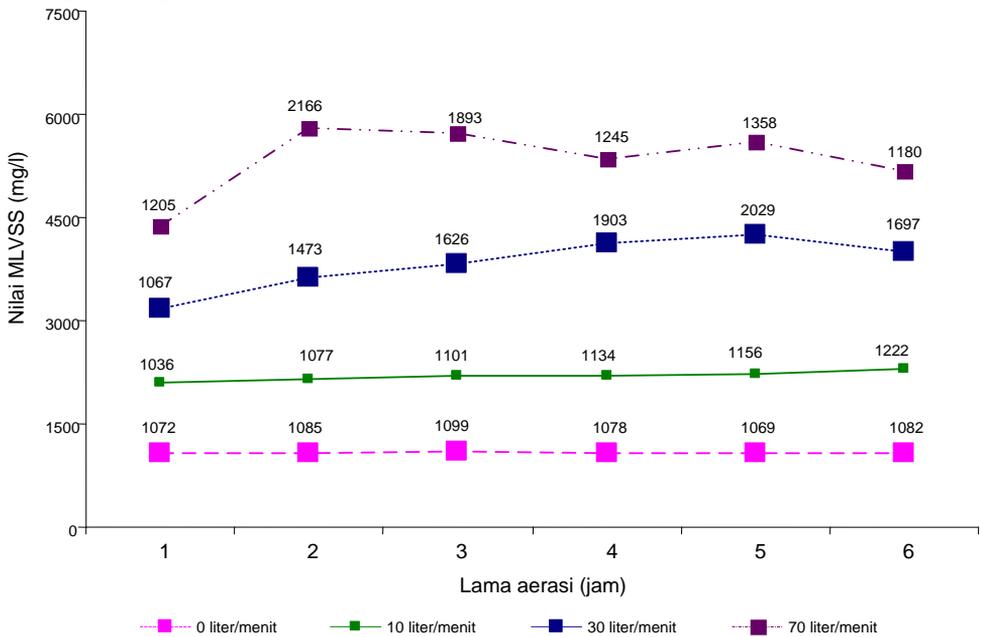
Gambar 3. Fluktuasi nilai DO pada empat taraf laju aerasi

Pengaruh Tingkat Laju Aerasi terhadap Nilai MLVSS

Di dalam limbah cair yang diproses melalui cara aerasi, mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang biak menjadi banyak karena di dalam bahan yang diproses ada makanan bagi mikroorganisme pengurai yang bersifat aerobik ataupun fakultatif berupa bahan organik yang *biodegradable* (BOD₅). Mikroorganisme membutuhkan oksigen yang cukup untuk menguraikan bahan

organik. Oleh karena itu, selama proses aerasi berlangsung, nilai BOD₅ menjadi berfluktuasi setiap saat sebagai akibat bahan tersebut dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang biak. Bahan organik (BOD₅) dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk diubah menjadi sel-sel tubuhnya (Waluyo, 2005). Pemanfaatan bahan organik dalam limbah cair yang diproses menjadi sel-sel tubuh mikroorganisme mengakibatkan jumlah mikroorganisme dalam limbah cair juga mengalami fluktuasi.

Nilai MLVSS sering dijadikan sebagai petunjuk tidak langsung kepadatan mikroorganisme yang berada dalam bahan yang diproses. Nilai ini penting diketahui untuk mendapatkan saat kepadatan mikroorganisme berada dalam jumlah maksimal, terutama untuk dijadikan sebagai sumber lumpur aktif yang akan dimasukkan ke dalam tangki pemrosesan dengan tujuan agar pengolahan berikutnya menjadi lebih cepat dalam volume dan konsentrasi polutan dari limbah cair yang diproses sama. Gambaran fluktuasi nilai MLVSS selama 6 jam dari masing-masing laju aerasi disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Fluktuasi nilai MLVSS selama 6 jam

Nilai MLVSS dari perlakuan pemberian udara pada laju 70 liter/menit mencapai maksimal dalam waktu yang relatif lebih cepat (pada t = 2 jam) jika dibandingkan dengan perlakuan lain. Pada perlakuan pemberian udara pada laju 30 liter/menit, nilai MLVSS tertinggi dicapai pada t = 5 jam (Gambar 4).

Pada laju aerasi 70 liter/menit dan 30 liter/menit, nilai MLVSS maksimum (Gambar 4) dan nilai BOD₅ minimum (Gambar 5) tercapai pada waktu yang sama (pada t = 2 jam dan t = 5 jam) yang sekaligus menunjukkan ada keterkaitan nilai MLVSS (kepadatan mikroorganisme) dengan jumlah makanan yang tersisa (BOD₅). Hal ini penting artinya dalam menentukan waktu saat proses aerasi sebaiknya dihentikan apabila hanya BOD₅ saja yang menjadi target untuk

dihilangkan dalam proses pengolahan lindi dan memanfaatkan lindi yang diproses pada saat tersebut sebagai lumpur aktif.

Pada dasarnya, proses pengolahan lindi dengan cara memberikan udara pada laju yang tinggi ditujukan untuk meningkatkan jumlah oksigen terlarut dalam lindi yang diproses. Oksigen penting artinya karena oksigen diperlukan dalam jumlah cukup agar mikroorganisme aerobik maupun fakultatif aktif dalam mendegradasi bahan pencemar yang *biodegradable* yang ada dalam lindi. Jika laju aerasi dibuat semakin tinggi, oksigen terlarut menjadi semakin tinggi hingga jumlah oksigen terlarut tidak menjadi faktor pembatas bagi mikroorganisme dalam memanfaatkan bahan organik untuk tumbuh dan berkembang biak.

Efektivitas Penurunan Polutan dari Masing-Masing Laju Aerasi

Nilai TDS merupakan salah satu parameter pencemar yang mengindikasikan kadar polutan baik polutan organik maupun polutan inorganik dalam lindi yang diolah. Dari pengolahan aerasi yang dicobakan selama 6 jam ternyata pemberian udara pada lindi menyebabkan nilai TDS pada efluen terus mengalami penurunan mulai dari jam ke-1 hingga jam ke-6, sekaligus mengindikasikan jumlah polutan dalam lindi yang diproses terus mengalami penurunan selama proses aerasi berlangsung. Nilai TDS setiap jam dari masing-masing laju aerasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai TDS tiap jam pada empat tingkat laju aerasi

| Laju aerasi | Nilai TDS (ppm) pada jam ke | | | | | |
|----------------|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 liter/menit | 3265a | 3265a | 3275a | 3275a | 3275a | 3275a |
| 10 liter/menit | 3250a | 3220a | 3195a | 3190a | 3175a | 3145a |
| 30 liter/menit | 3230a | 3195a | 3160a | 3135a | 3095ab | 3070a |
| 70 liter/menit | 3175a | 3130a | 3070a | 2985a | 2905b | 2850b |

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom, tidak berbeda nyata pada taraf 1%.

Pada t = 6 jam, nilai TDS terendah didapatkan pada perlakuan pemberian udara pada laju 70 liter/menit, yakni sebesar 2850 ppm (Tabel 2). Efektivitas penurunan nilai TDS tertinggi dan nyata berbeda jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya juga terdapat pada perlakuan pemberian udara pada laju 70 liter/menit, yakni sebesar 12,83% (Tabel 3).

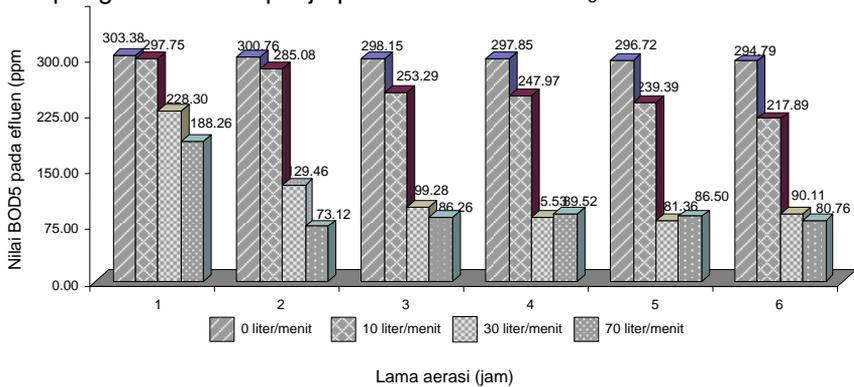
Tabel 3. Efektivitas penurunan nilai TDS tiap jam pada 4 tingkat laju aerasi

| Laju aerasi | Efektivitas penurunan Nilai TDS (%) pada Jam ke | | | | | |
|----------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 liter/menit | 0a | 0a | -0,31a | -0,31a | -0,31a | -0,31a |
| 10 liter/menit | 0,61a | 1,53a | 2,29ab | 2,45ab | 2,91ab | 3,82ab |
| 30 liter/menit | 1,37ab | 2,43ab | 3,50bc | 4,26b | 5,49b | 6,25b |
| 70 liter/menit | 2,90b | 4,27b | 6,11c | 8,71c | 11,15c | 12,83c |

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom, tidak berbeda nyata pada taraf 1%.

Selama proses aerasi berlangsung, nilai BOD₅ mengalami fluktuasi tiap jam seperti yang terdapat pada Gambar 5, sedangkan efektivitas dalam menurunkan nilai BOD₅ dari keempat laju aerasi seperti yang terdapat pada Tabel 4.

Pada perlakuan pemberian udara dengan laju aerasi 70 liter/menit, nilai BOD₅ mengalami penurunan yang drastis dan mencapai nilai terendah dalam waktu yang paling singkat, yakni pada t = 2 jam. Pada laju aerasi 30 liter/menit, BOD₅ minimum dicapai pada t = 5 jam, sedangkan pada perlakuan dengan laju aerasi 10 liter/menit dan 0 liter/menit, nilai-nilai BOD₅ pada t = 2 jam dan t = 5 jam masih jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai BOD₅ pada laju aerasi 70 liter/menit dan 30 liter/menit. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efektivitas tertinggi dalam menurunkan nilai BOD₅ terdapat pada perlakuan pemberian udara dengan laju 70 liter/menit (Tabel 4). Fenomena tersebut menunjukkan bahwa laju aerasi berpengaruh terhadap laju penurunan nilai BOD₅.



Gambar 5. Fluktuasi nilai BOD₅ selama 6 jam

Tabel 4. Efektivitas penurunan BOD₅ (%) tiap jam dari masing-masing laju aerasi

| Laju aerasi | Efektivitas penurunan BOD ₅ (%) pada jam ke | | | | | |
|----------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 liter/menit | 1,09a | 1,91a | 2,77a | 2,87a | 3,23a | 3,87a |
| 10 liter/menit | 4,35ab | 8,37a | 18,56b | 20,17b | 23,17b | 29,98b |
| 30 liter/menit | 24,52bc | 57,33b | 67,18c | 71,55c | 73,06c | 70,32c |
| 70 liter/menit | 40,88c | 77,06c | 72,94c | 71,95c | 72,86c | 74,63c |

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom, tidak berbeda nyata pada taraf 1%.

Perhitungan terhadap laju penguraian BOD₅ pada empat taraf laju aerasi yang dicobakan (0, 10, 30, dan 70 l/menit) dilakukan dengan menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Peterson dan Cummin dalam Goldman dan Horne (1983). Hasil perhitungan seperti yang terdapat dalam Tabel 5 menunjukkan bahwa perlakuan pengolahan lindi dengan memberikan udara pada laju 70 liter/menit selalu mempunyai laju penguraian bahan organik tertinggi yang tercermin dari penurunan nilai BOD₅ tertinggi, kemudian diikuti oleh perlakuan pemberian udara dengan laju 30 liter/menit dan 10 liter/menit. Pada perlakuan tanpa diaerasi, laju penguraian bahan organik yang ditunjukkan oleh penurunan nilai BOD memiliki nilai terendah. Sejalan dengan hasil penelitian ini, Shofuan (1996) yang melakukan penelitian dengan mengolah limbah cair dari rumah sakit di Jakarta dengan menerapkan beberapa tekanan aerasi yang berbeda mendapatkan bahwa tekanan aerasi berpengaruh terhadap penurunan nilai BOD₅. Berdasarkan hasil penelitiannya, laju penurunan BOD₅ (k) tertinggi terjadi pada tekanan aerasi 2 atm yang dilakukan selama 5 jam, yakni sebesar 0,4465. Menurut Metcalf dan Eddy (1991), nilai k dalam kondisi normal berkisar antara 0,05-0,3 per hari.

Laju penguraian bahan organik melalui pemberian udara pada laju 70 liter/menit selama 4 jam (0,45) (Tabel 5) ternyata hampir mendekati nilai laju penguraian bahan organik dengan menggunakan aerasi bertekanan 2 atm yang dilakukan Shofuan (1996), yakni 0,4587. Jika mengacu pada pendapat Peterson dan Cummin dalam Goldman dan Horne (1983) seperti pada Tabel 6, perlakuan dengan laju aerasi 70 liter/menit, 30 liter/menit dan 10 liter/menit tergolong cepat mulai dari jam ke-1 hingga jam ke-6.

Tabel 5. Laju penguraian bahan organik tiap jam dari masing-masing laju aerasi

| Laju aerasi | Laju penguraian bahan organik (k) jam ke | | | | | |
|----------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 liter/menit | 0,01a | 0,01a | 0,01a | 0,01a | 0,01a | 0,01a |
| 10 liter/menit | 0,04a | 0,04a | 0,06a | 0,06a | 0,05a | 0,06a |
| 30 liter/menit | 0,28ab | 0,38b | 0,37b | 0,35b | 0,32b | 0,29b |
| 70 liter/menit | 0,53b | 0,67c | 0,56c | 0,45c | 0,39b | 0,35b |

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom, tidak berbeda nyata pada taraf 1%

Tabel 6. Hubungan nilai k dengan laju penguraian bahan organik

| Nilai k | Kriteria |
|--------------|----------|
| > 0,01 | Cepat |
| 0,005 - 0,01 | Moderat |
| < 0,005 | Lambat |

Sumber: Peterson dan Cummin dalam Goldman dan Horne (1983)

Nilai *chemical organic demand* (COD) dalam air limbah menunjukkan kadar bahan organik yang tidak mudah terurai (*non biodegradable*). Penurunan nilai COD pada lindi yang diolah dengan cara aerasi berkaitan dengan peningkatan jumlah oksigen terlarut (DO) yang terdapat pada lindi yang diproses sebagai akibat pemberian udara pada lindi. Pengolahan lindi dengan memberikan udara pada laju 70 liter/menit menyebabkan oksigen terlarut lebih tinggi dalam waktu yang relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan pengolahan dengan memberikan udara pada laju 30, 10, dan 0 liter/menit. Hal ini berdampak pada nilai COD pada efluen yang dihasilkan dari perlakuan pemberian udara pada laju 70 liter/menit lebih rendah jika dibandingkan dengan pada laju lainnya (Tabel 7). Kondisi ini menunjukkan pengolahan melalui pemberian udara pada laju 70 liter/menit memiliki efektivitas menurunkan COD lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengolahan melalui pemberian udara pada laju yang lebih rendah (30, 10, dan 0 liter/menit). Menurut Park *et al.* (1994), fenomena tersebut disebabkan oleh suplai udara yang tinggi juga dapat berperan dalam oksidasi langsung bahan-bahan organik yang *non biodegradable* sehingga dapat menurunkan kandungan COD dalam air limbah.

Tabel 7. Kadar COD yang masih tersisa dan efektivitas penurunan COD dari masing-masing laju aerasi

| Laju aerasi | COD yang masih tersisa (ppm) | Efektivitas penurunan COD (%) |
|----------------|------------------------------|-------------------------------|
| 0 liter/menit | 616,03a | 2,11a |
| 10 liter/menit | 548,71ab | 14,63a |
| 30 liter/menit | 332,22b | 50,71b |
| 70 liter/menit | 166,15c | 74,53c |

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom, tidak berbeda nyata pada taraf 1%

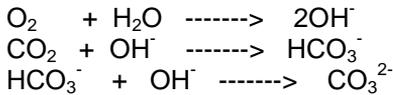
Selama proses aerasi berlangsung, pH terus mengalami peningkatan. Dari proses aerasi yang dilakukan selama 6 jam, pH tertinggi dan berbeda nyata dibanding tanpa diaerasi (0 liter/menit) terdapat pada perlakuan pemberian udara dengan laju 70 liter/menit, yakni 9,05 (Tabel 8).

Tabel 8. pH tiap jam pada 4 tingkat laju aerasi

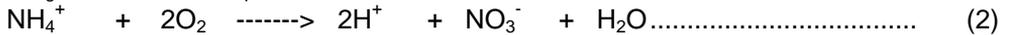
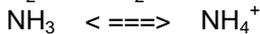
| Laju aerasi | pH pada Jam ke | | | | | |
|----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 liter/menit | 8,10a | 8,05a | 8,05a | 8,05a | 8,00a | 8,00a |
| 10 liter/menit | 8,15a | 8,20ab | 8,30ab | 8,35ab | 8,40ab | 8,45ab |
| 30 liter/menit | 8,20a | 8,40bc | 8,50bc | 8,55bc | 8,70b | 8,8b |
| 70 liter/menit | 8,30a | 8,55c | 8,65c | 8,75c | 8,90b | 9,05b |

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom, tidak berbeda nyata pada taraf 1%.

Peningkatan pH yang semakin tinggi sebagai akibat pemberian udara pada laju yang semakin besar berkaitan dengan perubahan senyawa yang bersifat asam yang ada dalam limbah cair yang diproses membentuk senyawa yang lebih basa seperti yang digambarkan oleh Achmad (2004) sebagai berikut.



Gas oksigen (O₂) yang dihasilkan dari proses aerasi juga dapat bermanfaat dalam mengoksidasi senyawa H₂S menjadi SO₄²⁻ yang relatif lebih aman bagi kehidupan akuatik dibanding H₂S. Senyawa NH₃ yang juga merupakan senyawa beracun bagi kehidupan akuatik dapat teroksidasi langsung menjadi NO₃⁻. Senyawa yang terbentuk (SO₄²⁻ dan NO₃⁻) dapat berikatan dengan logam yang terdapat dalam larutan membentuk senyawa baru dan H⁺ yang terbentuk dapat berikatan dengan OH⁻ yang dihasilkan dari reaksi antara CO₂ dan O₂ sehingga tidak menyebabkan terjadi penurunan pH pada lindi yang diolah. SO₄²⁻ dapat berikatan dengan Ca²⁺ membentuk endapan CaSO₄. Reaksi oksidasi senyawa H₂S dan NH₃ seperti yang digambarkan Achmad (2004) sebagai berikut.



Reaksi tersebut di atas sekaligus dapat menjelaskan bahwa dengan makin bertambah oksigen terlarut akibat proses aerasi menyebabkan polutan penyebab bau seperti halnya NH₃ dan H₂S dapat diubah menjadi bahan lain (NO₃⁻, SO₄²⁻) yang relatif lebih aman bagi lingkungan. Demikian halnya dengan bahan organik yang mengandung fosfor, juga akan dioksidasi menjadi PO₄³⁻. Proses-proses ini yang menyebabkan NH₃ dan H₂S maupun bahan organik menjadi berkurang pada efluen yang dihasilkan dan efluen menjadi lebih aman dialirkan ke lingkungan.

Perbedaan kemampuan dalam menurunkan jumlah NH₃ dan H₂S juga dapat disebabkan oleh perbedaan jumlah oksigen yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme. Pada laju aerasi yang tinggi, jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme aerobik atau fakultatif menjadi lebih terpenuhi untuk mendegradasi NH₃ atau H₂S menjadi sel-sel tubuhnya. Otomatis hal ini berdampak pada

penurunan jumlah NH₃ dan H₂S dalam lindi yang diproses. Efektivitas penurunan NH₃ dan H₂S dari masing-masing laju aerasi seperti yang terdapat pada Tabel 9.

Tabel 9. Kadar NH₃ dan H₂S yang masih tersisa dan efektivitas penurunan NH₃ dan H₂S dari masing-masing laju aerasi

| Laju aerasi | Polutan yang masih tersisa (ppm) | | Efektivitas penurunan polutan (%) | |
|----------------|----------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|
| | NH ₃ | H ₂ S | NH ₃ | H ₂ S |
| 0 liter/menit | 6,43a | 4,26a | -1,67a | -2,20a |
| 10 liter/menit | 4,72b | 3,32ab | 24,38b | 23,24b |
| 30 liter/menit | 2,72c | 2,12b | 60,93c | 55,51c |
| 70 liter/menit | 2,33c | 1,17c | 66,60c | 74,67c |

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom, tidak berbeda nyata pada taraf 1%
% mempunyai nilai – menunjukkan bahwa senyawa NH₃ atau H₂S mengalami peningkatan

Kadar NO₃⁻, SO₄²⁻ dan PO₄³⁻ dalam efluen hasil pengolahan aerasi pada laju 70 liter/menit lebih tinggi dibanding kadar ketiga bahan tersebut pada efluen yang diolah melalui pemberian udara pada laju 30, 10 dan 0 liter/menit (Tabel 10) dan ketiga senyawa ini relatif tidak berbahaya bagi kehidupan akuatik. Hal ini menunjukkan bahwa pengolahan aerasi pada laju 70 liter/menit lebih efektif mengubah bahan-bahan penyebab bau menjadi bahan-bahan yang relatif lebih aman bagi lingkungan. Kadar NO₃⁻, SO₄²⁻ dan PO₄³⁻ pada efluen setelah lindi diaerasi selama 6 jam terdapat pada Tabel 10.

Tabel 10. Kadar NO₃⁻, SO₄²⁻, dan PO₄³⁻ dalam efluen pada t = 6 jam dari masing-masing laju aerasi

| Parameter pencemar | Kadar bahan yang terdapat dalam efluen | | | |
|--------------------------------------|--|------------|------------|------------|
| | 0 l/menit | 10 l/menit | 30 l/menit | 70 l/menit |
| NO ₃ ⁻ (ppm)** | 1,41a | 1,56a | 3,15b | 4,21b |
| SO ₄ ²⁻ (ppm)* | 65,92a | 74,50ab | 88,18b | 101,63c |
| PO ₄ ³⁻ (ppm)* | 0,88a | 0,99a | 1,10b | 1,20b |

Keterangan: * Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu baris, tidak berbeda nyata pada taraf 5%
** Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu baris, tidak berbeda nyata pada taraf 1%

Pengolahan melalui pemberian udara pada laju 70 liter/menit selama 6 jam mampu menyebabkan nilai *E. coli* terendah (450 MPN/100 ml) dengan efektivitas penurunan *E. coli* tertinggi (66,49%) dibanding perlakuan dengan laju aerasi 30, 10 dan 0 liter/menit (Tabel 11). Menurut Park *et al.* (1994), radikal bebas yang terjadi pada oksigen hiperbarik adalah anion superoksida (O₂⁻) yang dalam air akan bereaksi membentuk hidrogen peroksida (H₂O₂). H₂O₂ disamping sebagai oksidator kuat, juga mempunyai sifat desinfektan hingga mampu membunuh bakteri patogen.

Tabel 11. Nilai *E. coli* yang masih tersisa dalam efluen dan efektivitas penurunan *E. coli* dari masing-masing laju aerasi

| Laju aerasi | Nilai <i>E. coli</i> dalam efluen (MPN/100 ml)* | Efektivitas penurunan <i>E. Coli</i> (%) ** |
|----------------|---|---|
| 0 liter/menit | 1500a | -7,29a |
| 10 liter/menit | 1200ab | 14,59b |
| 30 liter/menit | 900b | 42,02c |
| 70 liter/menit | 450c | 66,49d |

Keterangan: * Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom, tidak berbeda nyata pada taraf 5%

** Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom, tidak berbeda nyata pada taraf 1%

Pemberian udara pada lindi juga menyebabkan polutan berupa logam-logam terlarut (Cu, Zn, Mn, Fe, Cd, dan Cr) pada efluen mengalami penurunan sebagai akibat logam-logam tersebut teroksidasi membentuk senyawa yang mudah mengendap. Hal ini ditunjukkan oleh kadar logam terlarut yang terdapat pada efluen yang dikeluarkan dari kran atas lebih rendah dibanding kadar logam terlarut yang terdapat pada efluen yang dikeluarkan dari kran bawah (Tabel 12).

Tabel 12. Kadar logam terlarut (ppm) dalam efluen yang diambil dari kran atas dan bawah pada t = 6 jam dari keempat laju aerasi

| Jenis logam | 0 liter/menit | | 10 liter/menit | | 30 liter/menit | | 70 liter/menit | |
|-------------|---------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|---------|
| | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| Cu | 0,041a | 0,046a | 0,037a | 0,055a | 0,029a | 0,068b | 0,021a | 0,125b |
| Zn | 0,088a | 0,093a | 0,079a | 0,095a | 0,073a | 0,115a | 0,070a | 0,450b |
| Mn | 0,789a | 0,862a | 0,678a | 1,640b | 0,565a | 2,785b | 0,235a | 4,905b |
| Fe | 3,885a | 5,100b | 3,455a | 6,685b | 2,875a | 9,010b | 2,380a | 10,995b |
| Pb | 0,027a | 0,028a | 0,026a | 0,029b | 0,025a | 0,030b | 0,022a | 0,031b |
| Cd | 0,065a | 0,071a | 0,052a | 0,074b | 0,039a | 0,087b | 0,030a | 0,110b |
| Cr | 0,089a | 0,105a | 0,072a | 0,135b | 0,055a | 0,175b | 0,041a | 0,275b |

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu baris antara atas dan bawah dari masing-masing laju aerasi (0, 10, 30 dan 70 liter/menit) tidak berbeda nyata pada taraf 1%.

Selisih tertinggi antara jumlah logam terlarut yang terdapat pada efluen yang dikeluarkan dari kran atas dan bawah terdapat pada perlakuan pemberian udara pada laju 70 liter/menit. Hal ini menunjukkan bahwa pada perlakuan tersebut, logam terlarut baik Cu, Zn, Mn, dan Fe pada efluen yang dikeluarkan dari kran atas menunjukkan nilai terendah. Sebaliknya dengan logam terlarut yang terdapat pada efluen yang dikeluarkan dari kran bawah menunjukkan nilai tertinggi. Fenomena ini menunjukkan bahwa pengolahan dengan memberikan udara (aerasi) pada laju 70 liter/menit memiliki efektivitas tertinggi dalam mengendapkan logam terlarut (Tabel 13).

Tabel 13. Efektivitas penurunan logam terlarut dari lindi pada masing-masing laju aerasi

| Paramter | Efektivitas penurunan logam terlarut (%) pada ke empat laju aerasi | | | |
|----------|--|----------|----------|----------|
| | 0 l/mnt | 10 l/mnt | 30 l/mnt | 70 l/mnt |
| Cu* | 2,38a | 9,76b | 29,27c | 48,78d |
| Zn* | 1,12a | 10,23b | 17,05c | 20,45c |
| Mn* | 0,13a | 14,07b | 28,39c | 70,22d |
| Fe** | 0,03a | 11,07b | 26,00c | 38,74d |
| Pb | 1,87a | 3,62b | 3,85b | 15,38c |
| Cd** | 0,76a | 20,00b | 40,00c | 53,85c |
| Cr** | 0,56a | 19,10b | 38,20c | 53,93d |

Keterangan: * Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom, tidak berbeda nyata pada taraf 5%

** Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom, tidak berbeda nyata pada taraf 1%

Menurut Park *et al.* (1994), proses aerasi dapat menyebabkan suasana menjadi lebih oksidatif. Selanjutnya, Suriawiria (1993) mengemukakan bahwa suasana yang lebih oksidatif dapat menyebabkan logam terlarut menjadi mengendap. Manahan (2005) menggambarkan reaksi dari proses pengendapan besi dalam pengolahan air limbah melalui cara aerasi sebagai berikut.



Menurut Achmad (2004), reaksi tersebut dikatalisis oleh bakteri besi *thiobacillus ferroxidans*.

Kualitas efluen hasil pengolahan aerasi pada laju 70 liter/menit

Hasil penelitian seperti yang diuraikan sebelumnya menunjukkan bahwa pengolahan dengan pemberian udara pada laju 70 liter/menit selama 6 jam memiliki efektivitas tertinggi dalam menurunkan BOD₅, COD, NH₃, H₂S, *E. coli*, dan logam-logam terlarut (Cu, Zn, Mn, Fe, Cd, dan Cr). Meskipun demikian, beberapa polutan seperti BOD₅, COD, NH₃, H₂S, Mn, Fe, Cd, dan Cr pada efluennya masih berada di atas baku mutu bagi peruntukan semua golongan (A, B, C, dan D) dan beberapa polutan lainnya (Cu, Zn, Pb, dan *E. coli*) sudah dapat diturunkan hingga di bawah baku mutu juga untuk semua golongan (A, B, C, dan D) (Tabel 14). Upaya menurunkan polutan yang masih berada di atas baku mutu dapat dilakukan melalui pengolahan lanjutan baik dengan cara menambah waktu pengolahan maupun dengan memberikan perlakuan lain pada efluennya melalui pengolahan dengan cara kimia fisik menggunakan zeolit.

Tabel 14. Kualitas efluen (pada t = 6 jam) dari masing-masing laju aerasi dan standar baku mutu

| Parameter pencemar | Kadar polutan yang masih tersisa (laju 70 liter/menit) | Standar baku mutu bagi golongan peruntukan*) | | | |
|-----------------------------|--|--|-------|-------|-------|
| | | A | B | C | D |
| BOD ₅ (ppm) | 80,76 | 2 | 3 | 6 | 12 |
| COD (ppm) | 166,15 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| NH ₃ (ppm) | 2,33 | 0,5 | - | - | - |
| H ₂ S (ppm) | 1,17 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | - |
| Cu (ppm) | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,2 |
| Zn (ppm) | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 2 |
| Mn (ppm) | 0,24 | 1 | - | - | - |
| Fe (ppm) | 2,38 | 0,3 | - | - | - |
| Pb (ppm) | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 1 |
| Cd (ppm) | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Cr (ppm) | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,01 |
| <i>E. coli</i> (MPN/100 ml) | 450 | 1000 | 5000 | 10000 | 10000 |

Keterangan: * Baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001

** Kadar polutan yang sudah berada di bawah baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001

A = diperuntukkan sebagai air baku air minum;

B = diperuntukkan untuk prasarana/sarana, rekreasi air, pembudidayaan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian,

C = diperuntukkan untuk pembudidayaan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan

D = diperuntukkan untuk pertanian

Pemberian udara dengan laju yang berbeda (0, 10, 30, dan 70 liter/menit) pada lindi yang dilakukan selama 6 jam ternyata menyebabkan perbedaan warna pada efluen yang dihasilkannya. Gambaran secara visual efluen yang telah diolah selama 6 jam terdapat pada Gambar 6.



Gambar 6. Efluen hasil olahan aerasi

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

- (1) Pengolahan dengan cara aerasi melalui pemberian udara pada laju 70 liter/menit memiliki efektivitas lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengolahan dengan pemberian udara pada laju 30, 10, dan 0 liter/menit. Efektivitas dari perlakuan pemberian udara pada laju 70 liter/menit dalam menurunkan masing-masing polutan adalah $\text{NH}_3 = 66,60\%$, $\text{H}_2\text{S} = 74,67\%$, $\text{BOD}_5 = 74,63\%$, $\text{COD} = 74,53\%$, $E. coli = 66,49\%$, $\text{Cu} = 48,78\%$, $\text{Zn} = 20,45\%$, $\text{Mn} = 70,22\%$, $\text{Fe} = 38,74\%$, $\text{Pb} = 15,38\%$, $\text{Cd} = 53,85\%$, dan $\text{Cr} = 53,93\%$.
- (2) Beberapa polutan yang masih tersisa seperti BOD_5 , COD , NH_3 , H_2S , Cd , dan Cr yang terdapat pada efluen yang dihasilkan melalui pemberian udara pada laju 70 liter/menit masih berada di atas baku mutu bagi peruntukan semua golongan (A, B, C, dan D) dan beberapa polutan lainnya (Cu , Zn , Pb , dan $E. coli$) sudah dapat diturunkan hingga di bawah baku mutu untuk golongan D (pertanian).

Saran

- (1) Untuk mendapatkan efluen rendah polutan, sebaiknya pengolahan lindi di TPA dilakukan dengan cara pemberian udara pada laju 70 liter/menit yang dilanjutkan dengan proses kimia fisik menggunakan zeolit berukuran 20 – 30 mesh.
- (2) Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang terkait dengan
 - a. Pengaruh perlakuan yang dicobakan terhadap kadar polutan lainnya selain NH_3 , H_2S , BOD_5 , COD , $E. coli$, Cu , Zn , Mn , Fe , Pb , Cd dan Cr .
 - b. Jenis dan kadar bahan organik serta bakteri patogen yang terdapat pada pupuk cair yang dihasilkan dari lindi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad R. 2004. *Kimia Lingkungan*. Yogyakarta: ANDI.
- Brawono SE. 2004. Teknologi di TPST Bojong. Kompas Online. 7 Desember 2004. <http://www.terranet.or.id/bertanya.php?id=1079>. Diakses tanggal 12 April 2010.
- Goldman C and Horne A. 1983. *Limnologi*. New York: Mc Graw Hill Book Company.
- LPPM IPB. 2008. Sampah Bogor Menumpuk. <http://web.ipb.ac.id/~lppm/ID/index.php?view=warta/isinews&id=394> diakses pada tanggal 17 April 2010.
- Manik KES. 2007. *Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Djambatan.
- Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse*. Third Edition. New York: Mc Graw Hill International.
- Mulia RM. 2005. *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Park KM, Muhvich KH, Myers RA, and Marzeilla L. 1994. *Effects of Hyperbaric Oxygen in Infectious Diseases: Basic Mechanisms*.
- Peraturan Pemerintah. 2001. Lampiran Peraturan P Nomor 82 tahun 2001. http://does.google.com/viewer?a=v&q=cache:YO_hcog4zOsJ:puu-pi.menlh.go.id/pdf/ind/IND-PUU--3-2-2001-1Lampiran.pdf+&hl=id&gl=id&pid=bl&srcid=ADGEESjRsm09kvMksNfYKWxaUlp0H-egRQZktDDBvbURXuSocnmvTH6FbdBJWz32SFhh6Q5tl_aB-NbirtwBYUD0dR3ob5ePGDX9or314zBTE21GMXbstKzUtlidCzVMxVpdnmbFFXwRNp&sig=AHIEtbRZV-R1LyAxBabNU0eiWJHF3rOtQ. Diakses pada tanggal 12 April 2010.
- Purwanti IF, Yoedihanto, dan Masduqi A. 2003. Kinerja Digester Aerobik dan Pengering Lumpur dalam Mengolah Lumpur Tinja. *Jurnal Purifikasi*, 4(1): 25-30.
- Said NI, Indriatmoko H, Raharjo N, dan Herlambang A. 2009. Cara Menghilangkan Zat Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam Air. <http://www.Kelair.bppt.go.id/Sitpa/Artikel/Filter/filter.html> diakses pada tanggal 19 April 2010.
- Shofuan. 1996. *Pengaruh Aerasi Tekanan Tinggi terhadap Limbah Cair Organik Rumah Sakit TNI Angkatan Laut Dr. Mintohardjo, Jakarta* [tesis]. Jakarta: Program Studi Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Indonesia.
- Siregar SA. 2005. *Instalasi Pengolahan Air Limbah. Menuntaskan Pengenalan Alat-Alat dan Sistem Pengolahan Air Limbah*. Kanisius. Yogyakarta.
- Suriawiria U. 1993. *Mikrobiologi Air dan Dasar-Dasar Pengolahan Buangan secara Biologis*. Bandung: Alumnus.
- Waluyo L. 2005. *Mikrobiologi Lingkungan*. Malang: UMM.