

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DENGAN TUMBUHAN *Scirpus grossus L.f.*

WASTEWATER TREATMENT USING *Scirpus grossus L.f.*

Puti Sri Komala¹⁾, Budhi Primasari¹⁾, Eka Rini Dewi Putri¹⁾ dan Andalia Gustari¹⁾
¹⁾ Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas
email: putisrikomala@telkom.net

Abstrak

Air limbah hotel dan industri karet mengandung nitrat yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika tidak diolah. Penelitian ini menggunakan instalasi tumbuhan Mensiang (*Scirpus grossus L. f*) dengan variasi laju pembebanan hidrolis (HLR) 100 l/m².hari dan 200 l/m².hari dan konsentrasi COD 275 mg/l dan 490 mg/l. Parameter yang diukur adalah BOD, COD, TSS, Nitrogen dan pH, serta Amoniak total khusus untuk limbah cair karet. Efisiensi penyisihan yang diperoleh yaitu BOD₅ sebesar 82-98%, COD 87-97%, TSS 78-92%, nitrogen total 90-93% serta amoniak total 87-91%. Secara keseluruhan tingkat penyisihan parameter pencemar pada limbah cair industri karet kecuali nitrogen total lebih tinggi dibandingkan tingkat penyisihan pada limbah cair hotel. HLR dan konsentrasi COD influen optimum yaitu 100 l/m².hari dan 215-275 mg/l.

Kata kunci : laju pembebanan hidrolis, limbah cair industri karet, limbah cair hotel, mensiang

Abstract

The study used *Scirpus grossus L.f.* plant to treat that wastewater with Hydraulic Loading Rate (HLR) variations were 100 l/m².day and 200 l/m².day and influent coconcentrations COD 215-275 mg/l and 490-498 mg/l. The parameters analysed were BOD, COD, TSS, Nitrogen and pH and specially total Ammonia for crumb rubber industrial-wastewater. The wastewater treatment had relative high removal efficiency of contaminants for BOD₅ 82-98%, COD 87-97%, TSS 78-92%, total nitrogen 90 -93% and total ammonia 87-91%. In general removal efficiencies of contaminants in crumb rubber industrial wastewater, except total nitrogen, were higher compared to those of hotel wastewater. The optimum HLR and COD influent were 100 l/m².day and 215-275 mg/l.

Keywords : crumb rubber wastewater, hydraulic loading rate, hotel wastewater, *Scirpus grossus L.f*

1. PENDAHULUAN

Sistem konstruksi lahan basah digunakan sebagai pengolahan lanjutan setelah pengolahan fisik dengan tujuan mengeliminasi COD dan nitrifikasi/denitrifikasi serta pencemar lain. Sistem pengolahan diawali dengan *pre-treatment* yang akan mengendapkan bahan-bahan padat, setelah itu dialirkan ke konstruksi lahan basah atau *filter bed* yang ditangani dengan tumbuhan (Kurniadie, 1999).

Sistem pengolahan limbah secara biologis dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus lacustris* dan *Thypha latifolia* telah digunakan di Jerman untuk air limbah oli dan minyak serta dari lindi sisa kombusi dengan efisiensi penyisihan COD berkisar antara 60–86%, BOD 80-97% minyak dan oli dari industri baja, oli tangki petroleum dan tumpahan minyak dan oli dari kapal, serta *leachate* sisa kombusi (Altman dan Berendt, 1992).

Scirpus lacustris hidup di air dan memiliki bentuk morfologis yang unik, yaitu mempunyai batang yang berongga. Terdapat kesamaan sifat *Scirpus lacustris* dengan Mensiang (*Scirpus grossus L.f*), yaitu genus dan bentuk morfologi yang sama, yang membedakan hanya habitat asalnya. *Scirpus lacustris* hidup di daerah empat musim, sedangkan Mensiang (*Scirpus grossus L.f*) mampu hidup di daerah tropis seperti di Indonesia. Sebagai negara agraris, didukung dengan masih banyaknya flora dan lahan yang belum dimanfaatkan dengan maksimal, teknik pengolahan limbah cair dengan menggunakan tumbuhan ini sangat mungkin untuk dikembangkan.

Dalam penelitian ini akan dilakukan studi pengolahan limbah cair karet dan hotel dengan menggunakan tumbuhan Mensiang (*Scirpus grossus L.f*) dengan variasi konsentrasi COD dan laju pembebanan hidrolis. Karakteristik kedua limbah tersebut

digunakan, karena air limbah hotel mirip dengan limbah domestik dan limbah industri karet mengandung nitrat didalamnya, yang diperkirakan akan cocok diolah dengan instalasi tumbuhan.

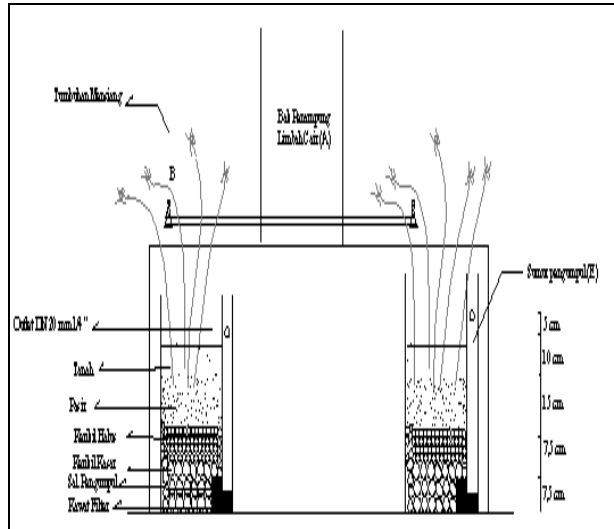
Penelitian ini bertujuan mengetahui kemampuan jenis tumbuhan *Scirpus grossus L.f* untuk menurunkan beban pencemar pada limbah cair industri karet remah dan limbah cair hotel serta membandingkannya terhadap baku mutu limbah yang berlaku dan menentukan laju pembebanan hidrolis (*hydraulic loading rate*) optimum.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium. Limbah cair yang berasal dari industri karet dan hotel yang diambil sebelum masuk ke instalasi pengolahan air limbah untuk mengetahui karakteristik limbah cair tersebut. Parameter limbah yang diukur adalah debit, pH memakai pH meter, BOD dengan metoda titrasi iodometri, COD dengan metoda *colorimetri*, TSS dengan metoda gravimetri, nitrat dengan metoda *nitrogen Kjedahl* (PUSAR-PEDAL, 1996).

Setiap percobaan menggunakan konsentrasi influen yang sama namun laju pembebanan hidrolis (*hydraulic loading rate*) yang berbeda, dengan mengatur bukaan valve. Analisis sampel dilakukan pada influen dan efluen, dari masing-masing instalasi setelah perioda detensi yang telah ditentukan. Parameter yang diukur adalah pH dengan, BOD₅, COD, TSS, nitrogen total, serta amoniak total khusus untuk limbah cair karet.

Reaktor terdiri atas 2 unit instalasi yang dipasang paralel untuk limbah cair industri karet dan limbah cair hotel. Tiap instalasi terdiri dari dua buah bak dengan ukuran 50 x 50 x 60 cm dan satu bak pengumpul limbah. Tiap bak dilengkapi dengan 1 pipa inlet untuk meratakan aliran pada tumbuhan dan 1 pipa outlet PVC DN 1/2 inci serta saluran pengumpul PVC DN 2 inci. Bak memiliki jumlah tanaman dan kerapatan yang sama, serta media pendukung reaktor tersusun atas lapisan tanah (10 cm), pasir (15 cm), kerikil halus (15 cm) dan kerikil kasar (5 cm) sedangkan sisanya digunakan untuk ambang bebas. Tumbuhan *Mensiang (Scirpus grossus L.f)* yang digunakan berumur kira-kira dua minggu dengan tinggi sekitar 30 cm. Skema reaktor dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengolahan Limbah Cair dengan Pengolahan Tumbuhan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa pada sampel dapat dilihat pada Tabel 1. Dari analisa tersebut terlihat bahwa semua parameter limbah cair tersebut telah melebihi baku mutu yang ditetapkan pemerintah.

Tabel 1. Karakteristik Pencemar Limbah Cair

| Parameter | Limbah Cair Karet (mg/l) | | Limbah Cair Hotel (mg/l) | |
|----------------|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| | Konsentrasi | Baku mutu | Konsentrasi | Baku mutu |
| BOD | 539,79-633 | 60 | 172,5-210 | 30 |
| COD | 1.092,5-1.106 | 200 | 490-512 | 50 |
| TSS | 1.019-1.264 | 100 | 308-600 | 50 |
| Amoniak Total | 10,7-23 | 5 | - | - |
| Nitrogen Total | 27-43,67 | 10 | 14,83 - 81,12 | - |
| pH | 5,6-6,66 | 6-9 | 6-6,4 | 6-9 |

Untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan mulai limbah masuk ke reaktor sampai keluar dari reaktor dan untuk melihat keadaan tunak dari reaktor, maka dilakukan percobaan pendahuluan terhadap reaktor tersebut. Percobaan pendahuluan dilakukan terhadap 2 reaktor dengan *HLR* yang berbeda. Reaktor 1 dengan *HLR* 100 l/m²/hari dan reaktor 2 dengan *HLR* 200 l/m²/hari. Dari hasil percobaan tersebut diperoleh waktu yang dibutuhkan air limbah masuk ke reaktor sampai mengalir keluar reaktor dari pipa outlet. Waktu detensi masing-masing *HLR* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Waktu untuk Setiap Laju Pembebanan Hidrolik (*HLR*)

| <i>HLR</i> | Waktu detensi (Td) | |
|----------------------------|--------------------|-------------------|
| | Limbah Cair Karet | Limbah Cair Hotel |
| 100 l/m ² /hari | 39 jam 52 menit | 32 jam 33 menit |
| 200 l/m ² /hari | 23 jam 50 menit | 20 jam 44 menit |

Hasil analisis pH terhadap variasi HLR (*hydraulic loading rate*) dan konsentrasi influen COD dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. pH pada Instalasi Tumbuhan *Scirpus grossus L.f.*

| HLR l/m ² .hari | Limbah Karet | | | Limbah Hotel | | |
|-------------------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | COD _{in} | pH _{in} | pH _{ef} | COD _{in} | pH _{in} | pH _{ef} |
| 100 | 215 | 6,92 | 7,74 | 275 | 6,25 | 7,30 |
| 200 | | | 7,55 | | | 7,02 |
| 100 | 498 | 6,74 | 7,54 | 490 | 6,35 | 6,98 |
| 200 | | | 7,29 | | | 6,89 |

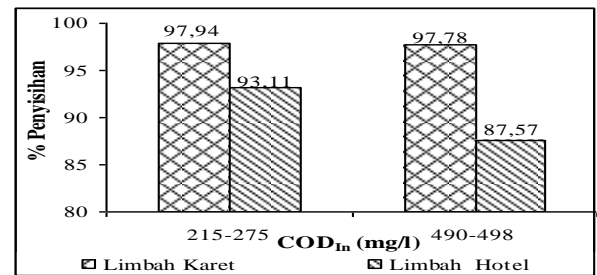
pH influen pada awalnya bersifat asam yaitu berkisar 6,25-6,92, setelah melewati proses pengolahan dengan dua variasi HLR (100 l/m².hari, 200 l/m².hari) dan konsentrasi COD influen terjadi perubahan pH efluen yaitu pH efluen menjadi naik sekitar 6,89-7,74. Perubahan pH dari kondisi asam ke netral karena dipengaruhi lapisan tanah yang mempunyai kandungan organik yang tinggi dan tergolong dalam jenis tanah andesol. Tanah dapat menetralkan pH karena kemampuan tanah menahan kation-kation basa seperti Ca⁺, Mg⁺, Na⁺, K⁺ dan kation asam seperti H⁺ dan Al⁺³ serta pertukaran ion H⁺ dan kation-kation lain adalah salah satu faktor yang mempengaruhi pertukaran aktivitas enzim dalam pertumbuhan mikroorganisma. Selain itu terjadinya perubahan pH karena sifat alami tanah yang mempunyai kapasitas untuk menetralkan pH (Hardjowigeno, 1993). Tabel 4 menunjukkan hasil analisis BOD₅ influen dan BOD₅ efluen baik untuk limbah cair karet dan limbah cair hotel dengan instalasi tumbuhan *Scirpus grossus L.f.*, sedangkan efisiensi penyisihan BOD dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.

Tabel 4. BOD₅ Influen dan Efluen pada Instalasi Tumbuhan *Scirpus grossus L.f.*

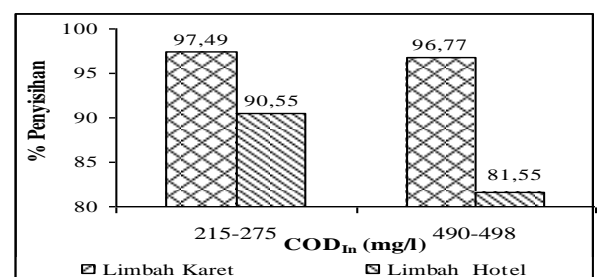
| HLR l/m ² .hari | Limbah Karet | | | Limbah Hotel | | |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | COD _{in} | BOD _{in} | BOD _{ef} | COD _{in} | BOD _{in} | BOD _{ef} |
| 100 | 215 | 129,7 | 2,68 | 275 | 109,6 | 7,56 |
| 200 | | 6 | 3,26 | | 9 | 10,37 |
| 100 | 498 | 255,0 | 5,66 | 490 | 210,9 | 26,22 |
| 200 | | 3 | 8,23 | | 7 | 38,93 |

Dari Gambar 2 dan 4 dapat dilihat bahwa variasi HLR (*Hydraulic loading rate*) dan konsentrasi COD memberikan efisiensi penyisihan yang berbeda, semakin besar konsentrasi COD dan HLR (*Hydraulic loading rate*) semakin kecil efisiensi penyisihan BOD. Untuk penyisihan BOD₅ pada HLR 100 l/m².hari terjadi penyisihan yang tinggi pada limbah cair karet yaitu sebesar 97,94% dan 97,78%, sedangkan instalasi pada limbah cair hotel diperoleh

leah penyisihan BOD yang lebih kecil yaitu sebesar 93,11% dan 87,57%.



Gambar 2. Penyisihan BOD₅ pada HLR 100 l/m².hari

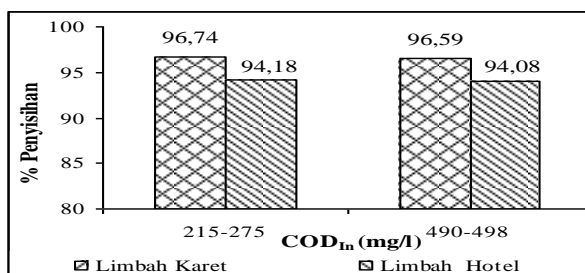


Gambar 3. Penyisihan BOD₅ pada HLR 200 l/m².hari

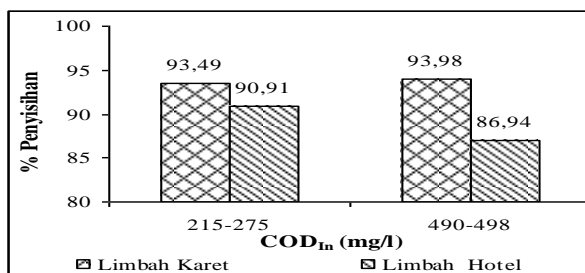
Menurut Kurnadie (1999), konsentrasi BOD₅ diturunkan melalui proses oksidasi dan reduksi (*fermentasi anaerobik*). Tingginya persentase penyisihan BOD disebabkan karena terjadinya kerjasama yang baik antara tanaman, mikroorganisma dan lapisan-lapisan tanah yang menjalankan fungsinya masing-masing dengan baik, dimana terjadi proses perombakan material organik yang sempurna oleh mikroorganisma karena didukung oleh suplay O₂ yang memadai dari tumbuhan dan kondisi lapisan tanah dan pasir juga sesuai untuk kehidupan mikroorganisma. Tumbuhan *Scirpus grossus L.f.* (mensiang) mensuplay O₂ dengan batangnya yang berongga seperti buluh, dan melakukan tugasnya melalui bagian akar dan mengalirkan udara keluar masuk tanah.

Menurut Reddy dkk. (1998) dalam Kurniadie (1999), proses oksidasi yang terjadi di daerah *rhizosphere* mempunyai peranan penting pada proses penjernihan air limbah. Banyaknya oksigen disekitar perakaran (*rhizosphere*) akan memungkinkan aktifitas bakteri aerob untuk menguraikan bahan organik dan unsur pencemar lainnya. Hasil penelitian yang telah dilakukan di Negara Jerman dengan limbah cair efluen oli dari tanki petroleum diperoleh persentase penyisihan BOD sebesar 97% dan

80% untuk limbah cair *leachate* sisa komposisi, sedangkan hasil penelitian Geller (1995) dalam Kurniadie (1999), diperoleh persentase penyisihan BOD 99% dengan menggunakan limbah cair rumah tangga. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan instalasi tumbuhan *Scirpus grossus L.f* diperoleh persentase BOD sebesar 81-98%, hal ini memperlihatkan persentase yang sama dengan penelitian sebelumnya. Persentase penyisihan parameter COD dengan instalasi tumbuhan terhadap 2 jenis limbah cair dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Penyisihan COD HLR 100 l/m².hari

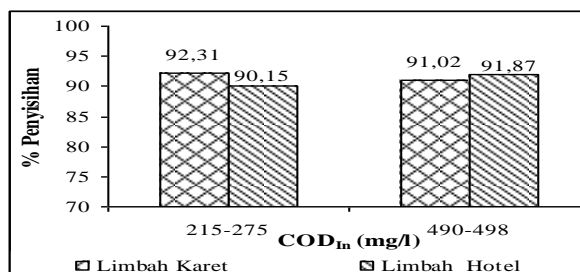


Gambar 5. Penyisihan COD HLR 200 l/m².hari

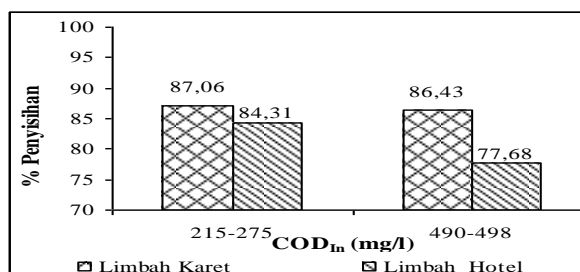
Berdasarkan Gambar 5 dan 6, terlihat bahwa pengolahan dengan instalasi tumbuhan *Scirpus grossus L.f* mempunyai efisiensi penyisihan yang baik. Penyisihan COD yang tinggi terjadi pada instalasi tumbuhan dengan menggunakan limbah karet yaitu sebesar 93,49%-96,74%, baik untuk HLR 100 l/m².hari maupun HLR 200 l/m².hari. Seperti pada penyisihan BOD, penyisihan COD pada limbah hotel lebih kecil dari penyisihan limbah karet yaitu sebesar 86,94%-94,28%. Dalam tumbuhan terjadi proses respirasi tanaman, dimana tanaman menghisap oksigen dari udara melalui batang, daun batang, akar dan *rhizomenya* yang kemudian dilepaskan kembali pada daerah perakaran. Proses di daerah *rhizosphere* yang bersifat aerob memungkinkan aktifitas berbagai bakteri pengurai bahan organik pencemar (Kurniadie, 1999), selain itu juga ditunjang oleh lapisan sedimen dimana material-material diserap pada lapisan sedimen, sehingga hasil a-

khirnya membentuk biomassa bagi tanaman, sebagai gas ke atmosfer dan sebagai air yang telah bersih.

Pada limbah cair rumah tangga diperoleh persentase penyisihan sebesar 95-99%, sedangkan hasil penelitian Vymazal dkk (1996) dalam Kurniadie (1999) diperoleh penyisihan sebesar 59-91%. Limbah cair industri karet mempunyai rasio BOD/COD yang relatif tinggi yaitu 0,49-0,57 dibandingkan limbah cair hotel (0,35-0,41), sehingga limbah karet lebih mudah diuraikan secara biologis dibandingkan dengan limbah hotel. Meskipun ditinjau dari rasio BOD/COD yang rendah sehingga limbah cair tersebut sulit diuraikan secara biologis oleh mikroorganisme yang ada, namun dengan adanya proses reduksi melalui mekanisme-mekanisme pengolahan yang beragam seperti sedimentasi, presipitasi dan adsorpsi kimia, interaksi mikroorganisme dan penyerapan oleh tumbuhan yang terjadi secara kompleks, penyisihan senyawa organik masih dapat ditingkatkan. Pada dasarnya faktor yang berperan dalam pengolahan dengan tumbuhan adalah tanah (sekitar 60%), namun pengolahan dengan adanya tumbuhan efisiensi penyisihan dapat ditingkatkan sekitar 32% (Komala dkk, 2005). Efisiensi penyisihan parameter TSS pada masing-masing limbah cair dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Penyisihan TSS HLR 100 l/m².hari

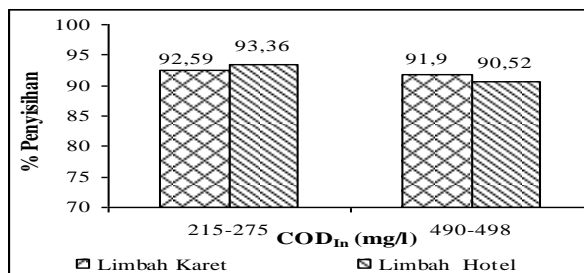


Gambar 7. Penyisihan TSS HLR 200 l/m².hari

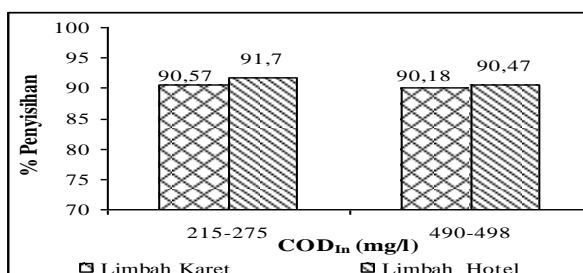
Dari Gambar 6 dan 7 terlihat persentase penyisihan TSS untuk HLR 100 l/m².hari relatif tinggi yaitu berkisar 91,02%-92,31% pada instalasi dengan

menggunakan limbah cair karet, sedangkan penyisihan pada limbah cair hotel sedikit lebih kecil yaitu 90,15-91,87%. Pada HLR 200 l/m².hari terjadi penurunan penyisihan di kedua limbah, masing-masing sebesar 86,43-87,06% pada limbah karet, sedangkan limbah hotel sebesar 77,68%-84,31%.

Peningkatan konsentrasi TSS mengakibatkan terjadinya penurunan penyisihan baik dengan menggunakan limbah cair karet maupun dengan limbah cair hotel, penurunan persentase penyisihan TSS dipengaruhi oleh besarnya beban yang diolah oleh instalasi. Mekanisme penyisihan TSS sendiri terjadi melalui proses filtrasi dan sedimentasi pada lapisan pasir, kerikil halus dan kasar, sehingga limbah dengan kandungan TSS yang tinggi akan disaring oleh media filter tersebut. Namun semakin besar konsentrasi TSS dapat menyebabkan *clogging*, sehingga penyisihan menjadi berkurang. Limbah cair mengalir melalui lapisan tanah dan dalam waktu yang sama terjadi pembersihan secara mekanis, biologis oleh akar tanaman, substrat tanah dan mikroorganisme. Persentase penyisihan nitrogen total dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Penyisihan N total HLR 100 l/m².hari

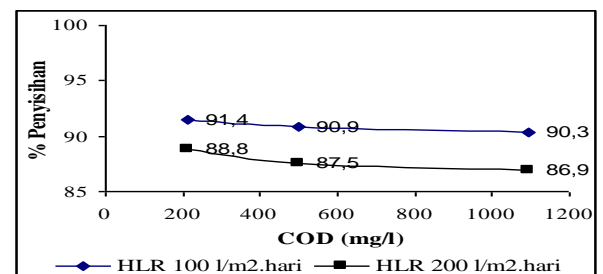


Gambar 9. Penyisihan N total HLR 200 l/m².hari

Pada penyisihan nitrogen total (Gambar 8 dan 9) terlihat penyisihan yang tinggi dan relatif tidak jauh berbeda pada kedua limbah yaitu (90,18%-92,59%) pada limbah cair karet dan (90,47%-93,36%) pada limbah cair hotel. Demikian juga kenaikan konsentrasi COD dan HLR relatif tidak menurunkan penyisihan.

Secara umum pengolahan pada instalasi tumbuhan dalam penyisihan nitrogen terjadi melalui proses adsorpsi, asimilasi/absorpsi serta proses amonifikasi, nitrifikasi dan denitrifikasi. Penyisihan nitrogen ini akan tinggi jika kesempatan senyawa-senyawa N dalam bentuk yang berbeda-beda untuk bergerak melalui zone-zone dengan kondisi optimal untuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi cukup besar (Luederitz, 2001). Konstruksi lahan basah (*constructed wetlands*) dapat menyisihkan nitrogen sebesar 71-97% dan 30-80% untuk hasil penelitian yang dilakukan di Giessen Jerman.

Efisiensi penyisihan amoniak terhadap konsentrasi substrat dan HLR dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Penyisihan Amonia

Dari gambar 10 terlihat bahwa kenaikan konsentrasi COD pada HLR yang sama tidak menurunkan tingkat penyisihan amoniak yang signifikan, tetapi kenaikan HLR mengakibatkan tingkat penurunan amoniak yang signifikan. Tingkat penyisihan amoniak pada HLR rendah berkisar antara 90,3-91,4%, sedangkan pada HLR tinggi berkisar antara 86,9-88,8%. Meningkatnya konsentrasi influen mengakibatkan meningkat juga kandungan pencemar dalam limbah cair tersebut, sehingga beban pengolahan reaktor pun akan menjadi menurun dan menghasilkan persentase penyisihan yang rendah.

Dibandingkan penelitian Geller (1998) dalam Luederitz (2001) di Jerman dengan instalasi tumbuhan *Phragmites australis* dan *Juncus inflexius* dan *Juncus effusus* aliran horizontal diperoleh penyisihan NH₄N berkisar antara 74-93,7%, maka penelitian dengan instalasi tumbuhan *Scirpus grossus L.f.* dengan penyisihan sebesar 86,9-91,4% berada pada rentang tersebut. Menurut Kurniadie (1999), Amoniak total (NH₄-N) dioksidasi oleh bakteri *autotrop* yang tumbuh disekitar *rhizosphere* menjadi nitrit dan kemudian nitrat yang akhirnya pada kondisi *anaerobik* dirubah oleh bakteri *fakutatif anaerobik* yang berada dalam tanah menjadi N₂. Semakin ren-

dah HLR waktu tinggal menjadi lebih lama, sehingga proses tersebut akan berlangsung secara perlahan pula pada setiap lapisan. Pernyataan tersebut sesuai dengan pendapat Metcalf & Eddy (1991), yang menyatakan bahwa HLR sangat berpengaruh dalam pengolahan air limbah terutama terhadap laju dekomposisi dan denitrifikasi.

Secara keseluruhan tingkat penyisihan parameter pencemar pada limbah cair industri karet kecuali nitrogen total lebih tinggi dibandingkan tingkat penyisihan pada limbah cair hotel. Peningkatan konsentrasi COD influen dan HLR tidak mengurangi tingkat penyisihan pencemar pada limbah cair karet dan nitrogen total di kedua limbah cair. Sebaliknya pada pengolahan limbah cair hotel kenaikan konsentrasi COD influen dan HLR akan mengurangi tingkat penyisihan pencemar dan kenaikan HLR akan menurunkan penyisihan amoniak pada limbah cair karet.

4. KESIMPULAN

Pengolahan dengan instalasi tumbuhan mampu menurunkan parameter pencemar dengan persentase penyisihan BOD 82-98%, COD 87-97% dengan rasio organik BOD/COD berkisar 0,35-0,57, TSS 72-95,42%, nitrogen total 81-98% dan amoniak 86,89-91,57% serta dapat menaikkan pH menjadi 6,63-7,74. HLR dan konsentrasi COD optimum influen adalah pada HLR dan COD rendah yaitu 100 l/m². hari dan konsentrasi COD influen 150 mg/l. HLR mempengaruhi waktu detensi, semakin kecil HLR semakin lama waktu detensi yang dibutuhkan. Dengan waktu tinggal yang lebih lama, maka proses-proses yang terjadi dalam instalasi akan berlangsung lebih sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Altman B.R. dan Berendt. V.S. (1992). **Planzenkläranlage zur Reinigung Öhaltiger Abwasser aus einem mineralölkörper.** Im DGMK Forschungsbericht 453. Hamburg, German.
- Hardjowigeno, S. (1993) **Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis.** Edisi Pertama. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Komala. P.S., Indah. S., dan Putri. E.R.D. (2005) **Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Tumbuhan Mensiang (Scirpus Grossus L.f.) dengan Variasi Laju Pembebanan Hidrolis (Studi Kasus : Limbah Cair Hotel Bumi Minang Padang).** *Jurnal Teknik* Vol.2. No. 23. Fakultas Teknik Universitas Andalas.
- Kurniadie, D. (1999). **Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga dengan Menggunakan Tumbuhan Air (Constructed wetland for wastewater treatment)**, dikutip dari <http://nakula.rvs.unibielefeld.de/majalah/23111998/artikeldeni.ht>.
- Luederitz, (2001). **Nutrients Removal Efficiency and Resource Economics of Vertical Flow and Horizontal Flow Constructed Wetlands,** Germany.
- Metcalf dan Eddy Inc. (1991). **Wastewater Engineering Treatment Disposal and Re-use.** Third edition, Mc Graw-Hill.
- PUSARPEDAL (Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan) (1996). **Materi Ajar Pelatihan Analisis Kualitas Air dan Limbah Cair Tahap I & III.** Jakarta,.