

PERAN MEDIA PENDUKUNG PERLIT DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI KARET MENGGUNAKAN TUMBUHAN MENSIANG (*Scirpus grossus L.f*) (Studi Kasus: Limbah Cair Industri Karet Remah PT. Batang Hari Barisan Padang)

Puti Sri Komala¹⁾, Salmariza Sy²⁾, dan Nelda Murti¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas

²⁾Balai Riset dan Standarisasi Industri dan Perdagangan

e-mail : putisrikomala@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Pengolahan limbah cair dilakukan menggunakan instalasi tumbuhan mensiang (*Scirpus grossus L.f*) dengan media pendukung perlit secara kontinu dalam skala laboratorium. Studi kasus dilakukan pada industri karet PT Batang Hari Barisan Padang, dengan parameter yang dianalisis BOD, COD, TSS, NH₃, Nitrogen total dan pH. Percobaan dilakukan dengan menggunakan dua instalasi yang dioperasikan secara paralel, yaitu instalasi dengan tumbuhan dan tanpa tumbuhan dengan media pendukung yang sama. Penelitian dilakukan pada HLR (*Hydraulic Loading Rate*) 100 L/m².hr, 200 L/m².hr, 300 L/m².hr dan konsentrasi COD influen 1.111 mg/L dan 2.019 mg/L. Persentase penyisihan parameter pencemar dengan instalasi tumbuhan untuk BOD 98,07 – 99,14%, COD 96,38 – 98,11%, TSS 89,70 – 97,00%, NH₃ total 93,71 – 95,73%, nitrogen total 81,58 – 95,91% dan pH naik menjadi 6,61 – 7,09. Sementara pada instalasi tanpa tumbuhan penyisihan BOD 95,93 – 97,98%, COD 83,80 – 90,19%, TSS 86,57 – 89,71%, NH₃ total 68,99 – 88,35%, nitrogen total 79,52 – 91,88% dan pH naik menjadi 6,4 – 6,77. Kemampuan pengolahan limbah cair menggunakan perlit pada instalasi tumbuhan rata-rata lebih besar 7% dibandingkan instalasi tanpa tumbuhan, sedangkan jika dibandingkan dengan kerikil tingkat penyisihan perlit lebih tinggi sekitar 6%. Penyisihan pencemar dengan media pendukung perlit lebih efektif, dimana kelebihan perlit dibandingkan kerikil antara lain mempunyai luas spesifik dan kapasitas adsorpsi lebih tinggi, sehingga penyerapan pencemar dan pertumbuhan jumlah mikroorganisme lebih besar untuk menguraikan bahan pencemar. HLR optimum adalah 100 L/m².hr, namun peningkatan HLR tidak menghasilkan perbedaan efisiensi penyisihan yang terlalu signifikan, sehingga instalasi masih mampu untuk mengolah limbah dengan laju alir yang lebih besar

Kata Kunci : Instalasi tumbuhan, Mensiang (*Scirpus grossus L.f*), perlit, HLR (*Hydraulic Loading Rate*).

THE ROLE OF SUPPORTING MEDIUM PERLITE IN CRUMB RUBBER INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT USING MENSIANG

(Scirpus grossus L.f)

(Case Study: Crumb Rubber Industrial Wastewater of PT Batang Hari Barisan Padang)

ABSTRACT

Waste water treatment was conducted by using mensiang (*Scirpus grossus L.f.*) plant installation with the supporting medium perlite in laboratorium scale. The case study took place in crumb rubber industry PT Batang Hari Barisan Padang, with the parameters BOD, COD, TSS, NH₃, total nitrogen and pH. The experiment was conducted in two parallel installations, they were with- and without plant installations with the same supporting medium. This study used three hydraulic loading rates (HLR), i.e 100 L/m².day, 200 L/m².day and 300 L/m².day and the influent concentrations were COD 1,111 mg/L and 2,019 mg/L. The pollutant removal efficiencies in the installation with plants using perlite as supporting medium were BOD 98.07-99.14%; COD 96.38-98.11%; TSS 89.70-97.00%; NH₃ 93.71-95.73%; total N 81.58-95.91% respectively and pH increased to 6.61-7.09. While those in the installation without plants were BOD 95.93-97.98%; COD 83.80-90.19%; TSS 86.57-89.71%; NH₃ 68.99-88.35%; total N 79.52-91.88% respectively and pH increased to 6.4-6.7. The ability of the installation with plants for treating wastewater was 7% higher than that of without plants, while if it compared to gravel the removal efficiencies of perlite was higher about 6%. The pollutant removal by perlite as supporting medium was more effective, where the outstanding of perlite is e.g it has higher adsorption capacity and specific area, so that it may adsorb more pollutant and support large amount of the microorganisms growth to degrade pollutant. The optimum HLR is 100 L/m²/d, nevertheless increasing of the HLR not result in significant difference of the removal efficiency, so that the installations are still able to treat the waste water with higher HLR.

Keywords : Plants installation, perlite, Mensiang (*Scirpus grossus L.f.*), HLR (Hydraulic Loading Rate).

PENDAHULUAN

Pengolahan biologis merupakan pengolahan yang penanganannya lebih mudah dan biaya yang rendah dibanding pengolahan secara kimia (Kristanto, 2002), sehingga potensial dikembangkan adalah pengolahan dengan instalasi menggunakan tumbuhan yakni konstruksi lahan basah (constructed wetland). Beberapa negara seperti di Canada, Jerman dan Spanyol telah membuktikan keberhasilannya sebagai alternatif pengolahan limbah cair menggunakan tumbuhan *Macrophyta* spesies *Scolachloa* dan *Scirpus lacustris*. Di Indonesia juga terdapat salah satu tumbuhan yang mampu hidup di daerah tropis yang memiliki kesamaan genus dan bentuk morfologi dengan *Scirpus lacustris* yaitu mensiang

(*Scirpus grossus L.f.*). Penelitian menggunakan tumbuhan mensiang telah dilakukan sebelumnya untuk pengolahan limbah cair hotel dan limbah cair industri karet oleh Putri dan Gustari pada tahun 2004. Penelitian tersebut mampu menyisihkan parameter pencemar limbah hotel yaitu mencapai BOD 98,16%; COD 97,33%; TSS 95,42% dan nitrogen 98,16% (Putri, 2004). Pada pengolahan limbah cair industri karet diperoleh penyisihan BOD 97,94%; COD 96,74%; TSS 92,31%; amoniak total 91,57%; Nitrogen total 92,59% (Gustari, 2004).

Untuk meningkatkan tingkat penyisihan, dalam penelitian ini akan digantikan salah satu media pendukung instalasi yaitu kerikil halus dengan perlit. Perlit merupakan batu silika alami yang dapat berekspansi dua puluh kali lipat dari volume awalnya yang dapat berfungsi sebagai media penyaring maupun meningkatkan jumlah udara atau air yang tertahan dalam tanah, sehingga dapat meningkatkan kondisi pertumbuhan tanaman (www.perlite.net, 2005). Perlit terdapat di beberapa propinsi di Indonesia, diantaranya Sumatera Barat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh peran media pendukung perlit pada instalasi tumbuhan mensiang dalam pengolahan limbah cair industri karet dengan membandingkan penyisihan pencemar antara instalasi dengan tumbuhan dan tanpa tumbuhan serta membandingkannya dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan media pendukung kerikil. Selain itu juga akan ditentukan kondisi optimum laju pembebanan hidrolik limbah cair pada instalasi tumbuhan mensiang serta mengetahui pengaruh beban limbah cair terhadap laju pertumbuhan mensiang.

BAHAN DAN METODE

Sampel Limbah Cair

Sampel limbah diambil dari instalasi pengolahan limbah setelah bak rubber trap sebelum masuk ke bak pengendap awal, dimana limbah yang berasal dari rubber trap belum mengandung zat kimia, sehingga tidak toksik bagi instalasi tumbuhan.

Parameter limbah yang diukur adalah debit, pH memakai pH meter, BOD dengan metoda titrasi tiometri, COD dengan metode kolorimetri, TSS dengan metode gravimetri, nitrat dengan metode nitrogen Kjeldahl, amoniak total dengan menggunakan metode Nessler spektrofotometer (PUSARPEDAL, 1996).

Instalasi Reaktor

Dalam penelitian ini digunakan dua unit instalasi yaitu instalasi tumbuhan dan instalasi tanpa tumbuhan yang dipasang paralel dengan komponen pendukung instalasi yang sama. Denah instalasi secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.

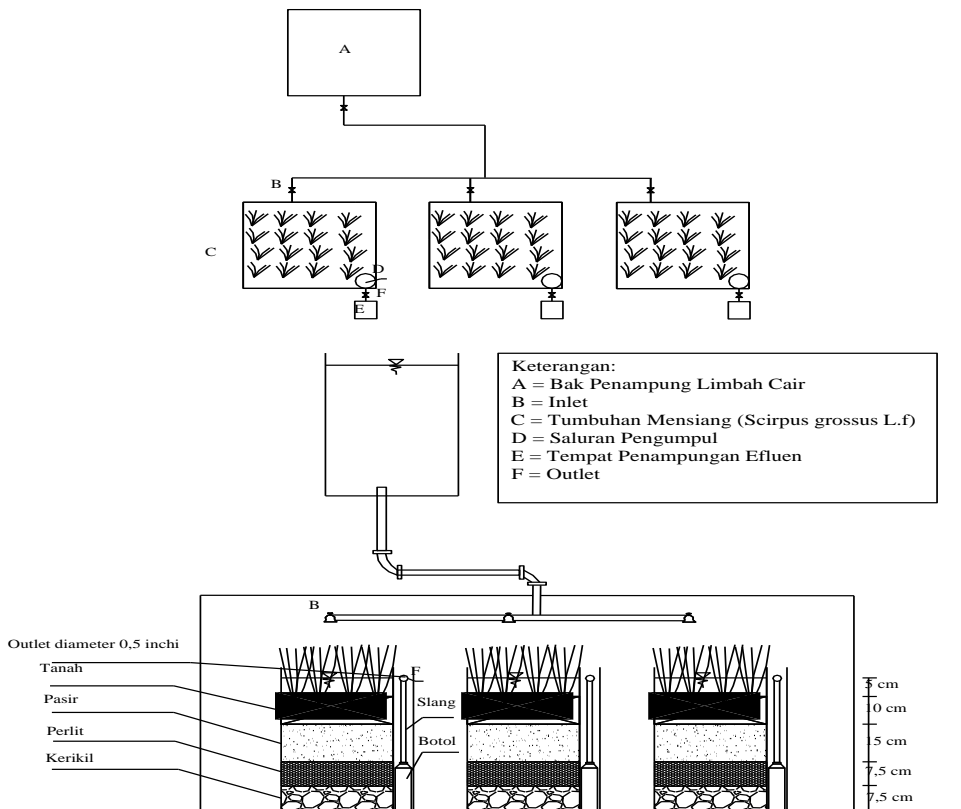
a. Media Pendukung Instalasi

Media pendukung instalasi tersusun dari atas ke bawah sebagai berikut: lapisan tanah (10 cm), pasir diameter 0-2 mm (15 cm), perlit diameter 2-5 mm

(7,5 cm) dan kerikil kasar 2-5 mm (7,5 cm) sedangkan sisanya digunakan untuk ambang bebas. Di atas lapisan tanah ditanami dengan tanaman mensiang, masing-masing bak ditanami dengan jumlah tanaman dan kerapatan yang sama, sedangkan pada instalasi tanpa tumbuhan digunakan bak berukuran dan media pendukung yang sama, namun tanpa ditanami tumbuhan.

b. Tumbuhan Mensiang (*Scirpus grossus L.f*)

Dalam penelitian ini diambil anak tumbuhan mensiang yang berumur kira-kira dua minggu dengan tinggi sekitar 30 cm, karena pada umur dan ketinggian ini tumbuhan dianggap sudah mampu beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya.



Gambar 1. Denah Instalasi Tumbuhan

Metode

Percobaan terdiri dari percobaan pendahuluan dan percobaan utama yang dilakukan pada kedua instalasi pengolahan yaitu instalasi dengan tumbuhan dan tanpa tumbuhan.

a. Percobaan Pendahuluan

Tujuan percobaan pendahuluan ini adalah membuat kondisi reaktor tunak, yang dimulai dengan mengalirkan konsentrasi influen limbah yang rendah untuk menghindari *shock loading*.

Pada awalnya dialirkan air bersih ke dalam bak ke dalam tiga buah bak instalasi tumbuhan dengan laju pembebanan hidrolis (HLR) yang berbeda dengan sistem pengaliran kontinu agar tumbuhan bisa beradaptasi. Tumbuhan beradaptasi dengan ditandai adanya perubahan dan perkembangan terhadap tumbuhan yaitu bertambahannya daun dan munculnya tunas baru.

Selama percobaan ini dilakukan pemeriksaan COD pada efluen sampai mencapai nilai yang konstan yang artinya reaktor telah mencapai kondisi tunak. Setelah kondisi ini tercapai instalasi siap untuk digunakan dalam percobaan utama.

b. Percobaan Utama

Percobaan utama dilakukan menggunakan konsentrasi limbah sebenarnya dengan tujuan untuk melihat kemampuan instalasi dalam menerima beban pengolahan dengan konsentrasi tersebut. Besarnya konsentrasi yang digunakan mengacu pada hasil sampling terhadap limbah cair industri karet. Seperti pada percobaan pendahuluan, HLR yang digunakan besarnya sama dan selama percobaan ini dilakukan pemeriksaan masing-masing parameter terhadap waktu sampai mencapai nilai yang konstan.

c. Sampling

Sampel diambil di *inlet* pada waktu awal percobaan dan di *outlet* setelah periode detensi tertentu dari masing-masing reaktor. Parameter yang dianalisis yaitu BOD, COD, TSS, pH, amoniak total dan nitrogen total. Selain itu juga akan dilakukan pemeriksaan komposisi yang ada dalam tanah dan unsur yang terdapat dalam tumbuhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel limbah cair berasal dari efluen PT Batang Hari Barisan penghasil karet remah yang terletak di jalan By Pass Kelurahan Betung Tebal Kecamatan Lubuk Begalung Padang.

1. Karakteristik Limbah Cair

Parameter-parameter limbah cair industri karet yang dianalisis berdasarkan pada Kep-51/MENLH/10/1995 lampiran B dan SK Gubernur No. 660.1-614-1997 lampiran B tentang baku mutu limbah cair untuk kegiatan industri karet.

Karakteristik limbah Cair Industri Karet PT Batang Hari Barisan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kualitas Limbah Cair Industri Karet PT Batang Hari Barisan

Penelitian	Efluen PT Batang Hari Barisan		Baku Mutu Kep-51/MENLH/10/1995 Lamp. B		Baku Mutu SK Gubernur No. 660.1-614-1997 Lamp. B	
	Kadar Maks. (mg/L)	Beban Penc. Maks. (kg/ton)	Kadar Maks. (mg/L)	Beban Penc. Maks. (kg/ton)	Kadar Maks. (mg/L)	Beban Penc. Maks. (kg/ton)
BOD	732,55	21	60	2,4	100	4
COD	1556	44	200	8	250	10
TSS	1309	37	100	4	110	4,4
Amoniak	19,074		5	0,2	7	0,28
Total		1				
Nitrogen	28,718		10	0,4	10	0,4
Total		1				
pH	6,8	6,8	6-9	6-9	6-9	6-9
Debit limbah max.	27,99 m ³ /ton	27,99 m ³ /ton	40 m ³ /ton	40 m ³ /ton	40 m ³ /ton	40 m ³ /ton

Tabel 1 menunjukkan bahwa hampir seluruh parameter limbah yang dihasilkan melebihi baku mutu yang ditetapkan pemerintah. Nilai BOD, COD dan padatan tersuspensi yang tinggi merupakan indikasi bahwa limbah cair mengandung padatan yang merupakan senyawa organik, seperti protein, karbohidrat, lipid dan garam-garam organik.

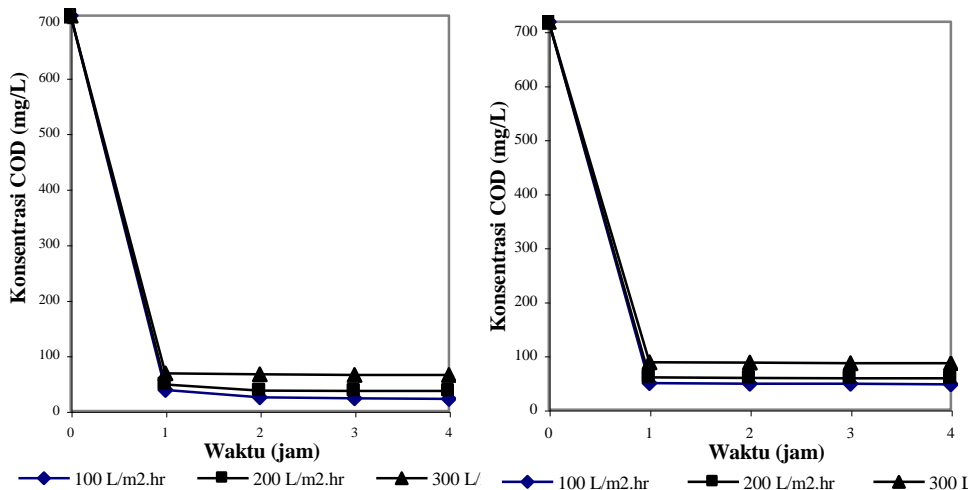
Konsentrasi amoniak total cukup tinggi dalam limbah cair industri karet sebesar 19,074 mg/L, diperkirakan berasal dari bahan olahan seperti slab dan lump, sedangkan kandungan nitrogen di dalam limbah cukup banyak, terutama berasal dari amoniak yang dipakai sebagai bahan pematap lateks (Departemen Perindustrian dan Perdagangan Bogor, 2002).

Umumnya limbah cair industri karet remah bersifat asam dengan pH berkisar 5,5 – 6,8. Hal ini disebabkan pemakaian asam asetat atau asam format untuk proses penggumpalan lateks. Sifat asam ini dapat pula terjadi karena pembentukan asam lemak bebas hasil aktivitas mikroba di dalam bahan olah yang disimpan beberapa hari sebelum diolah lebih lanjut (Departemen Perindustrian dan Perdagangan Bogor, 2002).

2. Penyisihan COD pada Kondisi Tunak

Untuk membuat kondisi reaktor menjadi tunak dilakukan percobaan pendahuluan menggunakan limbah dengan konsentrasi COD pada instalasi tumbuhan 712 mg/L dan 718 mg/L untuk instalasi tanpa tumbuhan. Hasil penyisihan COD pada percobaan pendahuluan dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.

Peran Media Pendukung Perlit Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Karet Menggunakan Tumbuhan Mensiang (*Scirpus Grossus L.F*). (Studi Kasus: Limbah Cair Industri Karet Remah PT. Batang Hari Barisan Padang) (Puti Sri Komala, Salmariza Sy, dan Nelda Murti)



Gambar 2. Penyisihan COD pada Instalasi dengan Tumbuhan setelah Waktu Detensi

Gambar 3. Penyisihan COD pada Instalasi tanpa Tumbuhan setelah Waktu Detensi

Konsentrasi COD efluen yang dihasilkan setelah reaktor dengan tumbuhan menunjukkan kondisi tunak berkisar antara 22-65 mg/L, dimana efisiensi yang dicapai berturut-turut untuk HLR 100 L/m².hr, 200 L/m².hr dan 300 L/m².hr adalah 97%, 95% dan 91%, sedangkan pada instalasi tanpa tumbuhan adalah 93%, 92% dan 88%. Nilai ini diperoleh setelah tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari konsentrasi efluen yang diamati setelah tiga jam setelah waktu detensi pada masing-masing bak. Perbedaan penyisihan COD antara instalasi dengan tumbuhan dan tanpa tumbuhan sekitar 3% atau sebesar 21-25 mg/L lebih rendah daripada instalasi tanpa tumbuhan.

Kondisi tunak pada instalasi tumbuhan dicapai setelah 50 jam 50 menit untuk HLR 100 L/m².hr, 27 jam 21 menit untuk HLR 200 L/m².hr dan 19 jam 27 menit untuk HLR 300 L/m².hr. Kondisi tunak pada instalasi tanpa tumbuhan 42 jam 28 menit untuk HLR 100 L/m².hr, 22 jam 24 menit untuk HLR 200 L/m².hr dan 16 jam 23 menit untuk HLR 300 L/m².hr. Penyisihan COD pada instalasi tanpa tumbuhan relatif tidak signifikan perubahannya pada jam-jam berikutnya setelah waktu detensi, sedangkan pada instalasi dengan tumbuhan perubahan penyisihan COD antara jam pertama dengan jam berikutnya cukup signifikan.

3. Penyisihan Parameter Limbah setelah Pengolahan

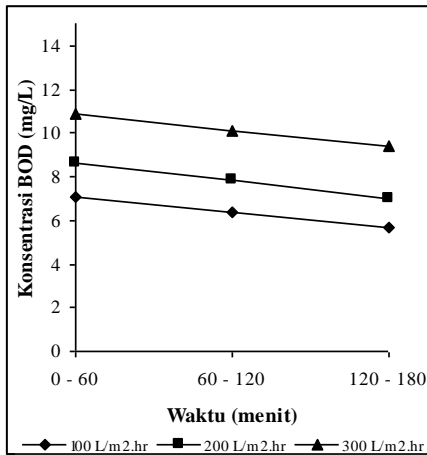
Setelah reaktor mencapai kondisi tunak yang dilakukan melalui percobaan pendahuluan, selanjutnya dilakukan percobaan utama, dimana percobaan ini mengacu terhadap data-data yang diperoleh pada percobaan pendahuluan. Percobaan ini terdiri dari beberapa variasi konsentrasi COD dan variasi laju pembebanan (100 L/m².hr, 200 L/m².hr dan 300 L/m².hr). Analisis dilakukan terhadap influen dan efluen dengan parameter BOD, COD, TSS, amoniak total, nitrogen total dan pH.

• Penyisihan BOD

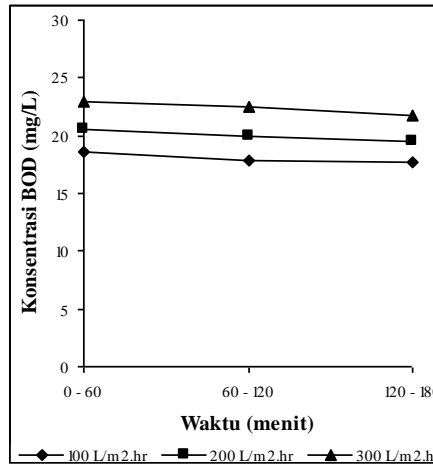
Penyisihan BOD pada instalasi tumbuhan dan tanpa tumbuhan dengan influen 564,98 mg/L dan 888,36 mg/L dapat dilihat pada Gambar 4 sampai Gambar 7. Pada gambar tersebut terlihat efisiensi penyisihan BOD limbah cair industri karet dengan influen 564,98 mg/L dan 888,36 mg/L pada instalasi tumbuhan mensiang yang menggunakan media pendukung perlit berkisar 98,07 – 99,14% dan tanpa tumbuhan sebesar 95,93 – 97,98%, sehingga pengolahan dengan instalasi tumbuhan 1,16 – 3,14% lebih tinggi dibandingkan instalasi tanpa tumbuhan. Dibandingkan penelitian sebelumnya, pengolahan dengan instalasi tumbuhan mensiang dan media pendukung kerikil untuk limbah cair industri karet berkisar 95 – 98 % dan untuk limbah cair hotel berkisar 82 - 93%, sedangkan tanpa tumbuhan yang dilakukan pada limbah hotel memiliki efisiensi penyisihan sebesar 55 – 66% (Komala, 2005). Penelitian lain di Jerman pada pengolahan limbah dengan tipe *reed beds* menyisihkan BOD sebesar 93,1 – 99% (Luederitz *et al.*, 2001). Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan BOD pada instalasi tumbuhan dengan media pendukung perlit cukup tinggi dibandingkan dengan menggunakan media pendukung kerikil. Media perlit mempunyai luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan media kerikil, sehingga dapat meningkatkan adsorpsi material organik pada limbah cair dan mikroorganisme pengurai zat organik dalam limbah dapat hidup lebih banyak pada media, sehingga penyisihan senyawa organik lebih tinggi. Bahan organik dari limbah akan diadsorpsi pada permukaan tanah yang kemudian akan diuraikan oleh mikroorganisme dalam kondisi aerob, selanjutnya distribusi air limbah di teruskan ke lapisan campuran tanah atau media pendukung di bawahnya dalam kondisi anaerob.

Efisiensi penyisihan instalasi dengan tumbuhan lebih tinggi dibandingkan dengan instalasi tanpa tumbuhan karena terjadi proses respirasi tanaman yang menghisap oksigen dari udara melalui batang, daun batang, akar dan rhizomenya yang kemudian dilepaskan kembali pada daerah perakaran. Di daerah rhizosphere terjadi proses penguraian zat organik (Kurniadi, 1999), selain itu juga ditunjang oleh lapisan sedimen, dimana material-material diserap pada lapisan sedimen, kemudian dikeluarkan sebagai gas ke atmosfer dan sebagai air yang telah bersih.

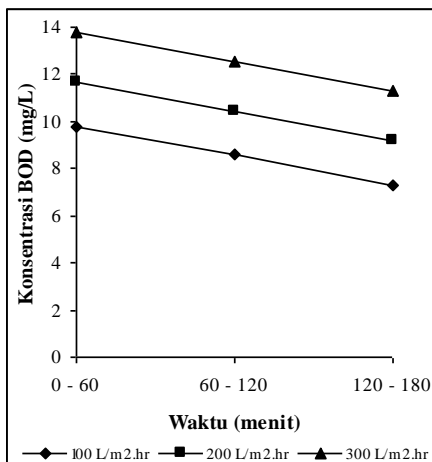
Peran Media Pendukung Perlit Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Karet Menggunakan Tumbuhan Mensiang (*Scirpus Grossus L.F*). (Studi Kasus: Limbah Cair Industri Karet Remah PT. Batang Hari Barisan Padang) (Puti Sri Komala, Salmariza Sy, dan Nelda Murti)



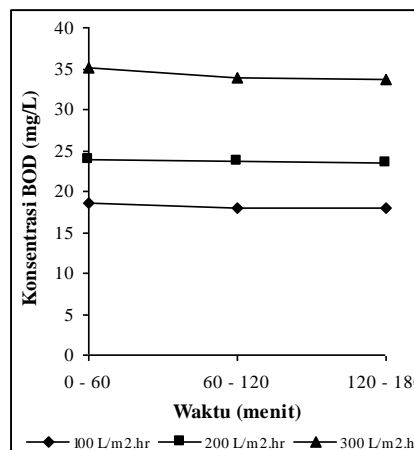
Gambar 4. Penyisihan Konsentrasi BOD 564,98 mg/L pada Instalasi Tumbuhan



Gambar 5. Penyisihan Konsentrasi BOD 564,98 mg/L pada Instalasi Tanpa Tumbuhan



Gambar 6. Penyisihan Konsentrasi BOD 888,36 mg/L pada Instalasi Tumbuhan



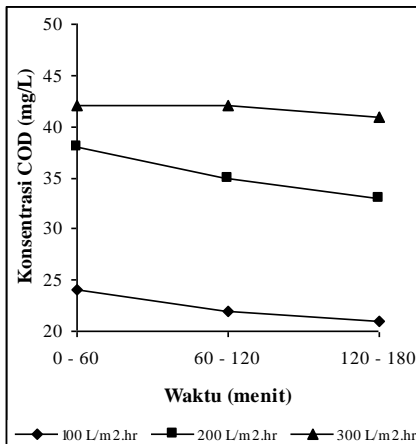
Gambar 7. Penyisihan Konsentrasi BOD 888,36 mg/L pada Instalasi Tanpa Tumbuhan

Hasil analisis ini juga menunjukkan semakin tinggi HLR semakin menurun persentase penyisihan BOD yaitu pada instalasi tumbuhan untuk HLR 100 L/m².hr, 200 L/m².hr dan 300 L/m².hr berturut-turut adalah 98,75 – 99,14%, 98,47 – 98,92% dan 98,07 – 98,67%. Begitu juga pada instalasi tanpa tumbuhan untuk HLR 100 L/m².hr, 200 L/m².hr dan 300 L/m².hr berturut-turut adalah 96,70 –

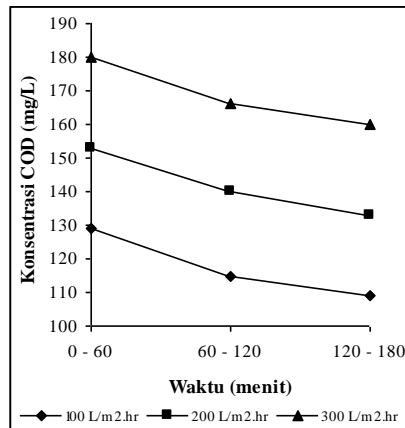
97,98%, 96,36 – 97,30%, dan 95,93 – 96,21%. Semakin kecil HLR, maka laju dekomposisi akan berlangsung secara perlahan pula, sehingga waktu tinggal lebih lama yang akan membuat laju dekomposisi tersebut lebih sempurna dan sebaliknya (Tchobanoglous, 1999).

• **Penyisihan COD**

Penyisihan COD pada instalasi tumbuhan dan tanpa tumbuhan dengan konsentrasi influen 1.111 mg/L dan 2.019 mg/L dapat dilihat pada Gambar 8 sampai 11.



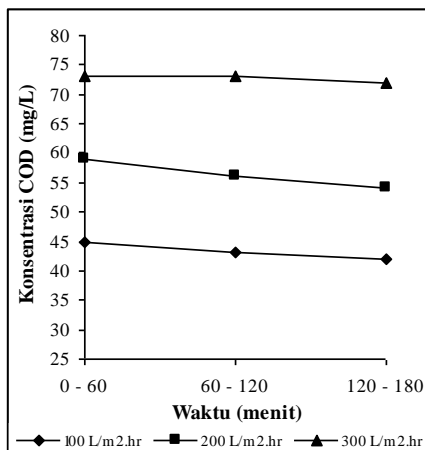
Gambar 8. Penyisihan Konsentrasi COD 1.111 mg/L pada Instalasi Tumbuhan



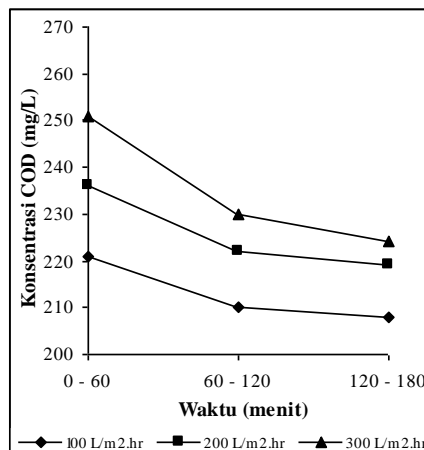
Gambar 9. Penyisihan Konsentrasi COD 1.111 mg/L pada Instalasi tanpa Tumbuhan

Berdasarkan gambar tersebut efisiensi penyisihan COD limbah cair industri karet pada instalasi tumbuhan mensiang yang menggunakan media pendukung perlit berkisar 96,38 – 98,11 % dengan konsentrasi COD efluen sekitar 45-73 mg/L dan tanpa tumbuhan sebesar 83,80 – 90,19 % dengan konsentrasi COD efluen sekitar 208-251 mg/L. Terlihat bahwa pengolahan dengan instalasi tumbuhan mempunyai efisiensi penyisihan 7,92 – 12,58% lebih tinggi dibandingkan instalasi tanpa tumbuhan. Berdasarkan percobaan sebelumnya, yang dilakukan oleh Komala pada tahun 2005 dengan instalasi tumbuhan mensiang dan menggunakan media pendukung kerikil untuk mengolah limbah karet 93 – 97% dan untuk limbah cair hotel berkisar 85 – 94%, sedangkan pengolahan dengan instalasi tanpa tumbuhan pada limbah hotel berkisar 48 – 66%.

Peran Media Pendukung Perlit Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Karet Menggunakan Tumbuhan Mensiang (*Scirpus Grossus L.F.*). (Studi Kasus: Limbah Cair Industri Karet Remah PT. Batang Hari Barisan Padang) (Puti Sri Komala, Salmariza Sy, dan Nelda Murti)



Gambar 10. Penyisihan Konsentrasi COD 2.019 mg/L pada Instalasi Tumbuhan



Gambar 11. Penyisihan Konsentrasi COD 2.019 mg/L pada Instalasi Tanpa Tumbuhan

Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD pada instalasi tumbuhan antara yang menggunakan media pendukung perlit lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan media pendukung kerikil, dimana mekanisme penyisihan senyawa organik terjadi pada media pendukung khususnya perlit yang mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi, selain adsorpsi juga sebagai tempat pertumbuhan mikroorganisme menjadi lebih banyak. Letak lapisan perlit ini berada di bawah lapisan pasir yang memungkinkan bagi mikroorganisme anaerob tumbuh disini dan menguraikan senyawa organik. (Attanandana, *et al.*, 2000). Kemampuan perlit dalam menyisihkan COD diperlihatkan pada penelitian sistem MSL yang menggunakan perlit untuk mengolah limbah cair toilet dan kantin dengan efisiensi penyisihan 94,8% (Attanandana *et al.*, 2000).

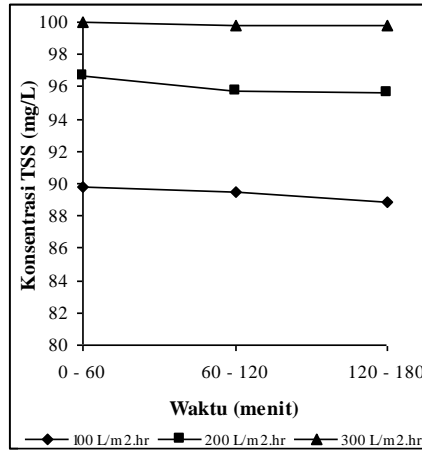
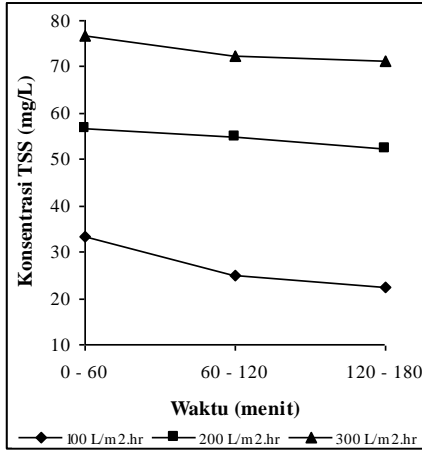
Efisiensi penyisihan instalasi dengan tumbuhan lebih tinggi dibandingkan dengan instalasi tanpa tumbuhan, karena terjadi proses penguraian zat organik bahan pencemar di daerah rhizosphere yang bersifat aerob (Kurniadie, 1999). Penelitian lain juga telah membuktikan konstruksi lahan basah dapat menyisihkan COD cukup besar antara lain di Jerman dalam mengolah limbah cair minyak dan oli industri baja yang menggunakan tumbuhan *Phalaris arundinacea* (Schilf) dan *Scirpus lacustris* (Binsen) 77%, mengolah limbah cair tumpahan minyak dan oli kapal dengan tumbuhan *Typha* dan *Scirpus lacustris* 90% (Alman & Berendt, 1992) dan pengolahan limbah menggunakan reed beds berkisar 90,3 – 98,3% (Luederitz *et al.*, 2001).

Seperti halnya percobaan BOD, percobaan COD juga menunjukkan hal yang sama, yaitu semakin tinggi HLR semakin menurun persentase penyisihan COD. Namun perbedaan persentase penyisihan COD tersebut tidak terlalu signifikan

sekitar 1%. Hal tersebut menunjukkan bahwa instalasi masih mampu mengolah limbah cair dengan HLR yang lebih tinggi.

• **Penyisihan TSS**

Hasil analisis TSS pada instalasi tumbuhan dan tanpa tumbuhan pada berbagai HLR dengan konsentrasi influen TSS 744,444 mg/L dan 905,556 mg/L dapat dilihat pada Gambar 12 sampai 15.

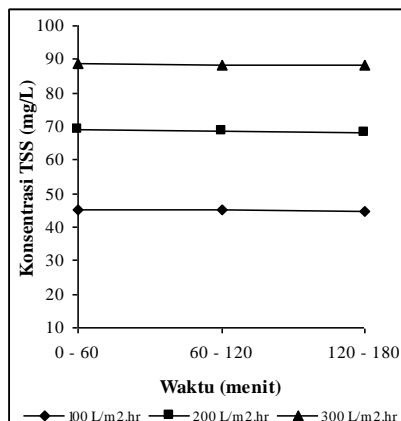


Gambar 12. Penyisihan Konsentrasi TSS 744,444 mg/L pada Instalasi Tumbuhan

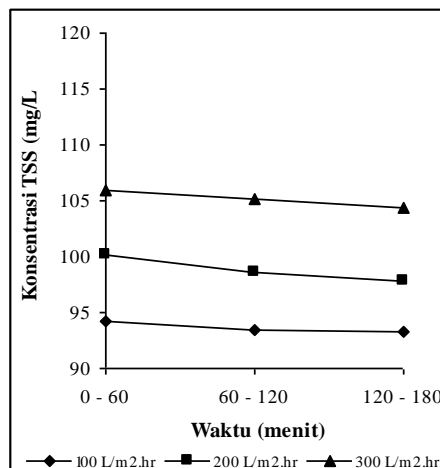
Gambar 13. Penyisihan Konsentrasi TSS 744,444 mg/L pada Instalasi Tanpa Tumbuhan

Dari gambar tersebut terlihat efisiensi penyisihan TSS limbah cair industri karet pada instalasi tumbuhan mensiang berkisar 89,70 – 97,00% dengan TSS efluen sekitar 33 – 89 mg/L dan tanpa tumbuhan sebesar 86,57 – 89,71% dengan TSS efluen antara 93-106 mg/L. Efisiensi penyisihan TSS pada instalasi tumbuhan 3,13 – 7,29% lebih tinggi dibandingkan instalasi tanpa tumbuhan. Pada penelitian sebelumnya (Komala *et al.*, 2005) pengolahan instalasi tumbuhan mensiang dengan menggunakan media pendukung kerikil dapat menyisihkan TSS untuk limbah cair industri karet berkisar 84-92% dan untuk limbah cair hotel berkisar 78 - 92%, sedangkan pengolahan dengan instalasi tanpa tumbuhan yang menggunakan media pendukung kerikil berkisar 58,27 – 67,29% (Putri, 2004).

Peran Media Pendukung Perlit Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Karet Menggunakan Tumbuhan Mensiang (*Scirpus Grossus L.F.*). (Studi Kasus: Limbah Cair Industri Karet Remah PT. Batang Hari Barisan Padang) (Puti Sri Komala, Salmariza Sy, dan Nelda Murti)



Gambar 14. Penyisihan Konsentrasi TSS 905,556 mg/L pada Instalasi Tumbuhan



Gambar 15. Penyisihan Konsentrasi TSS 905,556 mg/L pada Instalasi Tanpa Tumbuhan

Seperti juga pada penyisihan COD dan BOD bahwa penggunaan media pendukung perlit lebih tinggi efisiensinya dibandingkan dengan menggunakan media pendukung kerikil. Media perlit mempunyai luas permukaan lebih besar, sehingga proses filtrasi pada media pendukung lain akan bertambah dengan adanya perlit tersebut (Salmariza dan Sofyan, 2001), selain itu juga luas spesifik perlit yang tinggi mengakibatkan kapasitas adsorpsi fisik yang tinggi.

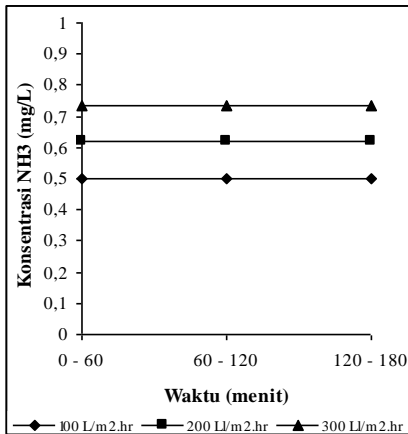
Efisiensi penyisihan instalasi dengan tumbuhan lebih tinggi dibandingkan dengan instalasi tanpa tumbuhan karena zat organik yang terkandung dalam limbah akan membentuk sedimentasi dan diuraikan oleh mikroba yang berada pada akar tumbuhan (Kurniadie, 1999). Selain itu juga limbah cair yang mengalir melalui lapisan tanah dan dalam waktu yang sama terjadi pembersihan secara mekanis, biologis oleh akar tanaman, substrat tanah dan mikroorganisme (Bruhn, 1995).

Pada gambar juga terlihat bahwa semakin tinggi HLR semakin rendah persentase penyisihan TSS yaitu dan menghasilkan 95,02 – 97,00% (HLR 100 L/m².hr), 92,38 – 92,99% (HLR 200 L/m².hr) dan 89,70 – 90,45% (HLR 300 L/m².hr) dan pada instalasi tanpa tumbuhan untuk HLR 100 L/m².hr, 200 L/m².hr dan 300 L/m².hr menghasilkan 87,94 – 89,71% 87,02 – 89,21%, dan 86,57 – 88,47%. Hal ini menunjukkan bahwa proses penyerapan TSS terjadi lebih banyak pada HLR yang lebih kecil karena waktu tinggal yang lebih lama. Peningkatan konsentrasi TSS dapat mengakibatkan terjadinya penurunan penyisihan baik terhadap instalasi dengan dan tanpa tumbuhan mensiang. Penurunan penyisihan TSS dipengaruhi oleh besarnya beban yang diolah oleh instalasi, sehingga dengan

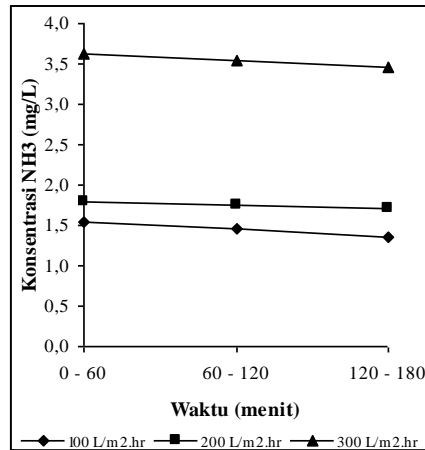
besarnya konsentrasi TSS dapat menyebabkan *clogging* (penyumbatan) yang mempengaruhi kinerja instalasi.

• **Penyisihan Amoniak**

Penyisihan amoniak total pada instalasi tumbuhan dan tanpa tumbuhan dengan konsentrasi influen 11,696 mg/L dan 18,565 mg/L dapat dilihat pada Gambar 16. sampai 19.

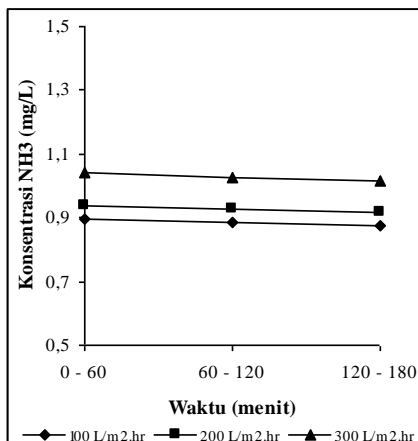


Gambar 16. Penyisihan Konsentrasi NH₃ 11,696 mg/L pada Instalasi Tumbuhan

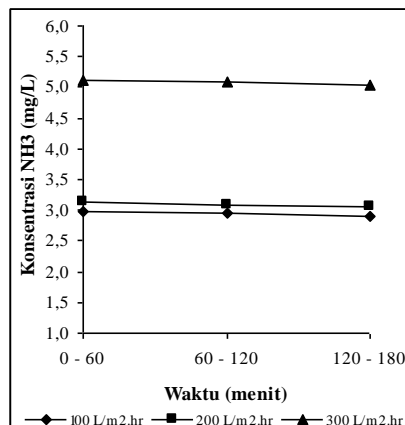


Gambar 17. Penyisihan Konsentrasi NH₃ 11,696 mg/L pada Instalasi Tanpa Tumbuhan

Berdasarkan grafik tersebut efisiensi penyisihan NH₃ limbah cair industri karet pada instalasi tumbuhan mensiang yang menggunakan media pendukung perlit berkisar 93,71 – 95,73 % dengan konsentrasi NH₃ efluen sekitar 0,50-1,04 mg/L dan tanpa tumbuhan 68,99 – 88,35 % dengan konsentrasi NH₃ efluen sekitar 1,36-5,12 mg/L. Efisiensi penyisihan NH₃ limbah cair industri pada instalasi tumbuhan 7,38 – 24,72% lebih tinggi dibandingkan instalasi tanpa tumbuhan. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Komala, 2005) yang menggunakan media pendukung kerikil dapat menyisihkan NH₃ pada limbah cair industri karet berkisar 87-91%. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan NH₃ pada instalasi tumbuhan dengan media pendukung perlit lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan media pendukung kerikil, karena luas permukaan perlit lebih besar sehingga dapat meningkatkan penyisihan NH₃ (Attanandana *et al.*, 2000).



Gambar 18. Penyisihan Konsentrasi NH₃ 18,565 mg/L pada Instalasi Tumbuhan



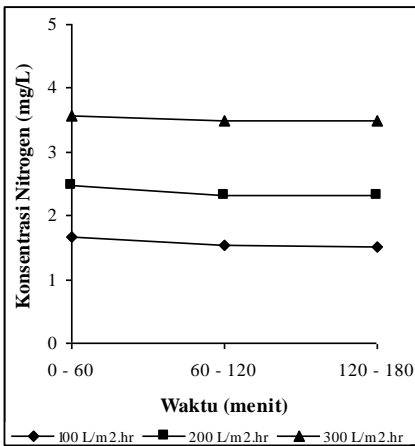
Gambar 19. Penyisihan Konsentrasi NH₃ 18,565 mg/L pada Instalasi tanpa Tumbuhan

Efisiensi penyisihan instalasi dengan tumbuhan lebih tinggi dibandingkan dengan instalasi tanpa tumbuhan karena instalasi tersebut terjadi proses oksidasi oleh bakteri autotrop yang tumbuh disekitar rhizosphere menjadi nitrit dan kemudian nitrat yang akhirnya pada kondisi anaerobik dirubah oleh bakteri fakultatif anaerobik yang berada dalam tanah menjadi N₂ (Kurniadie, 1999). Hasil penelitian lain di Giessen Jerman menghasilkan efisiensi penyisihan NH₃ yang berkisar antara 80% - 96% (Kurniadie, 1999), sedangkan penelitian pengolahan limbah menggunakan reed beds di Jerman berkisar 74 - 93,7% (Luederitz *et al*, 2001).

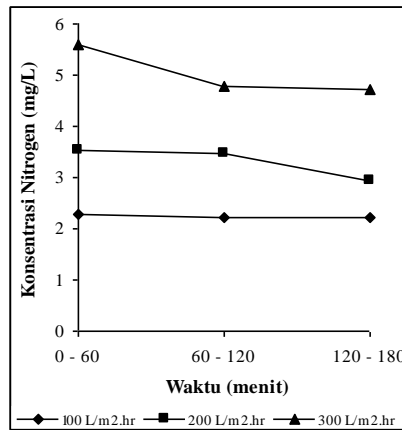
Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa semakin tinggi HLR semakin rendah persentase penyisihan NH₃ untuk HLR 100 l/m².hr, 200 l/m².hr dan 300 l/m².hr berturut-turut menghasilkan efisiensi penyisihan NH₃ 95,16 - 95,73%, 94,68 - 95,07%, dan 93,71 - 94,53 %. Pada instalasi tanpa tumbuhan untuk HLR 100 l/m².hr, 200 l/m².hr dan 300 l/m².hr penyisihan NH₃ sebesar 83,91 - 88,35%, 83,14 - 85,45% dan 68,99 - 72,83%. Seperti parameter sebelumnya, semakin kecil HLR laju dekomposisi akan berlangsung secara perlahan pula, sehingga waktu tinggal lebih lama yang akan membuat laju dekomposisi tersebut lebih sempurna dan sebaliknya (Tchobanoglous, 1991).

- **Penyisihan Nitrogen Total**

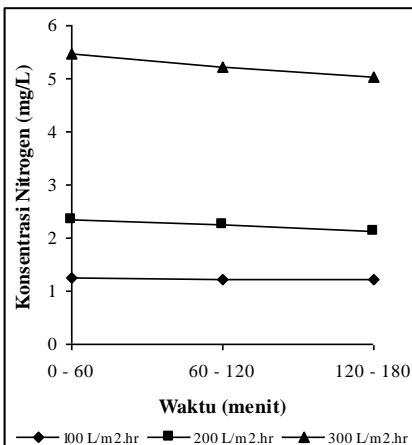
Hasil analisis nitrogen pada instalasi tumbuhan dan tanpa tumbuhan dengan konsentrasi influen nitrogen total 27,277 mg/L dan 29,766 mg/L pada berbagai HLR dapat dilihat pada pada Gambar 20 sampai 23.



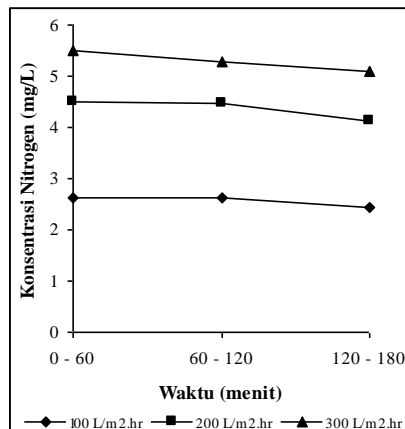
Gambar 20. Penyisihan Konsentrasi Nitrogen Total 27,277 mg/L pada Instalasi Tumbuhan



Gambar 21. Penyisihan Konsentrasi Nitrogen Total 27,277 mg/L pada Instalasi Tanpa Tumbuhan



Gambar 22. Penyisihan Konsentrasi Nitrogen Total 29,766 mg/L pada Instalasi Tumbuhan



Gambar 23. Penyisihan Konsentrasi Nitrogen Total 29,766 mg/L pada Instalasi Tanpa Tumbuhan

Dari gambar terlihat bahwa efisiensi penyisihan nitrogen total limbah cair industri karet pada instalasi tumbuhan mensiang yang menggunakan media pendukung perlit berkisar 81,58 – 95,91% dengan konsentrasi nitrogen efluen sekitar 1,22-5,48 mg/L dan tanpa tumbuhan 79,52 – 91,88% dengan konsentrasi nitrogen efluen sekitar 2,21-5,48 mg/L. Efisiensi penyisihan nitrogen dengan

instalasi tumbuhan 2,06 – 4,03% lebih tinggi dibandingkan instalasi tanpa tumbuhan.

Pada penelitian instalasi tumbuhan mensiang dengan media pendukung kerikil yang dilakukan sebelumnya (Komala *et al.*, 2005) dapat menyisihkan nitrogen untuk limbah karet dan hotel berkisar 90 – 93%, sedangkan pengolahan dengan instalasi tanpa tumbuhan yang menggunakan media pendukung kerikil dapat menyisihkan nitrogen total limbah cair hotel berkisar 60,19 – 64,82%. Efisiensi penyisihan nitrogen pada instalasi tumbuhan dengan media pendukung perlit lebih tinggi dibandingkan instalasi dengan media pendukung kerikil. Luasnya permukaan perlit dapat memberikan tempat bagi mikroorganisme fakultatif-anaerob pengurai nitrogen yang berada pada permukaan media lebih banyak, sehingga dapat meningkatkan proses nitrifikasi.

Efisiensi penyisihan instalasi dengan tumbuhan lebih tinggi dibandingkan dengan instalasi tanpa tumbuhan karena terjadi proses pengolahan disekitar akar yang bersifat aerob yang memungkinkan berbagai aktivitas bakteri pengurai bahan organik pencemar dan unsur pencemar (nitrogen dan posfor) meningkat. Efisiensi penyisihan nitrogen pada penelitian ini juga berada pada rentang yang dihasilkan pada penelitian yang dilakukan di Jerman menggunakan reed beds dengan penyisihan nitrogen 48 – 98,3% (Luederitz *et al.*, 2001), di Spanyol dalam proses penyisihan nutrisi dari indikator fecal dari limbah cair yang menggunakan *Scirpus grossus* 30% (Sot, *et al.*, 1999) dan penelitian di Giesen (Jerman) sebesar 71 – 97% (Kurniadie, 1999).

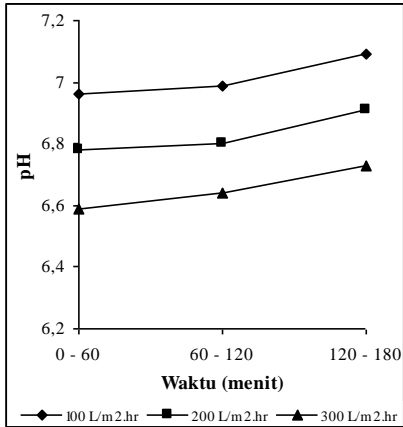
Hasil penelitian juga menunjukkan semakin tinggi HLR semakin menurun persentase penyisihan nitrogen total yaitu pada instalasi tumbuhan untuk HLR 100 l/m².hr, 200 l/m².hr dan 300 l/m².hr berkisar 93,90 – 95,91%, 90,90 – 92,88%, dan 81,58 – 87,22%, sedangkan pada instalasi tanpa tumbuhan untuk HLR yang sama dihasilkan efisiensi penyisihan nitrogen sebesar 91,16 – 91,88%, 84,93 – 89,26%, dan 79,52 – 82,93%.

Kapasitas pertukaran ion perlit maupun kerikil nilainya relatif rendah yaitu 1,5 dan 1,1 (Attananda *et al.*, 2000), sehingga adsorpsi kimia yang terjadi relatif lebih kecil. Namun jika ditinjau dari luas permukaan perlit memiliki luas permukaan yang lebih besar dibanding kerikil maka mekanisme penyisihan pada media ini merupakan adsorpsi fisik dibanding kimia. Dengan waktu detensi yang lebih besar pada HLR rendah menyebabkan proses penyerapan pencemar yang lebih besar pula.

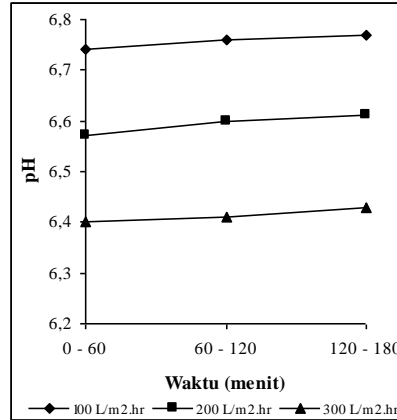
• pH

Profil perubahan pH setelah melalui instalasi dengan tumbuhan dan tanpa tumbuhan dapat dilihat pada Gambar 24 sampai 27. Dari gambar terlihat bahwa terjadi proses netralisasi pH influen yang bersifat sedikit asam yaitu 6,28 dan 6,48 naik menjadi sekitar 6,61 – 7,09, sedangkan pada instalasi tanpa tumbuhan menaikkan pH menjadi 6,4 – 6,77.

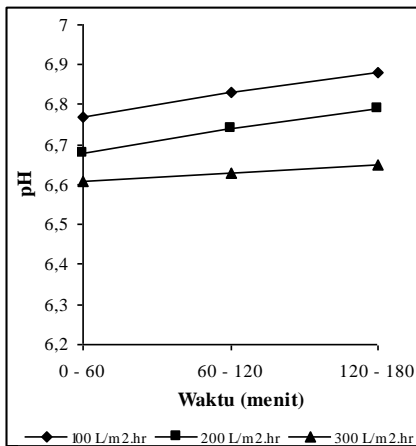
Pada penelitian sebelumnya (Komala *et al.*, 2005) dengan media pendukung kerikil menaikkan pH dari 6,25-6,92 menjadi 6,89-7,74. Baik pengolahan menggunakan media pendukung perlit maupun kerikil terdapat lapisan tanah yang dapat merubah pH menjadi kondisi netral, meskipun pada media pendukung kerikil sedikit melampaui batas netral.



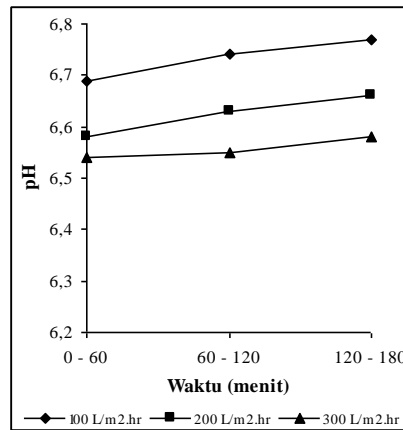
Gambar 24. Perubahan pH Influen 6,28 pada Instalasi Tumbuhan



Gambar 25. Perubahan pH Influen 6,28 pada Instalasi Tanpa Tumbuhan



Gambar 26. Perubahan pH Influen 6,48 pada Instalasi Tumbuhan



Gambar 27. Perubahan pH Influen 6,48 pada Instalasi Tanpa Tumbuhan

Tanah dapat menetralkan pH karena adanya kemampuan tanah untuk menahan kation-kation basa seperti, Ca⁺, Mg⁺, Na⁺, K⁺ dan kation asam seperti H⁺ dan Al⁺³, sehingga jika tanah dalam kondisi asam maka akan terjadi pertukaran kation asam dengan kation basa dan sebaliknya. menyebabkan terjadinya

perubahan pH, baik perubahan pH yang disebabkan oleh tanah itu sendiri, seperti terjadinya pelapukan maupun terjadinya perubahan pH tanah yang disebabkan oleh adanya zat lain yang terdapat atau melewati tanah dan menyebabkan terjadinya perubahan pH (Hardjowigeno, 1993).

Berdasarkan hasil pemeriksaan, menunjukkan bahwa semakin tinggi HLR semakin turun pH. Perubahan pH pada instalasi tumbuhan untuk HLR 100 l/m².hr, 200 l/m².hr dan 300 l/m².hr berturut-turut sebesar 6,77 – 7,09; 6,68 – 6,91 dan 6,59 – 6,73, sedangkan pada instalasi tanpa tumbuhan untuk HLR yang sama perubahan pH berkisar antara 6,69 – 6,77; 6,57 – 6,66, dan 6,40 – 6,58. Pada HLR yang rendah dibutuhkan waktu detensi yang lebih lama pada media pendukung, sehingga membuat proses netralisasi pada media pendukung sempurna dan sebaliknya. Namun pengaruh perubahan pH akibat perbedaan HLR tersebut tidak terlalu besar.

Dari penelitian sebelumnya yang dilakukan Komala pada tahun 2005 menggunakan media pendukung kerikil diperoleh efisiensi penyisihan BOD 90%, COD 91%, N total, 92%, NH₄-N 89%, maka penyisihan pencemar pada instalasi tumbuhan dengan media pendukung perlit lebih tinggi sekitar 6% dibandingkan instalasi dengan media pendukung kerikil, karena luas permukaan perlit dapat memberikan suplai oksigen lebih banyak untuk penguraian zat organik oleh mikroorganisme yang berada pada permukaan media serta kapasitas adsorpsi meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa media perlit dapat menyisihkan pencemar lebih efektif dibandingkan media kerikil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan anatara lain :

1. Karakteristik influen limbah cair pabrik karet: warna kehitaman; BOD 564,98-888,36 mg/L; COD 1111-2019 mg/L; TSS 744,44-905,55 mg/L; NH₃ 11,69-18,57 mg/L; pH 6,28-6,48. Berdasarkan Kep MENLH No.51/MENLH/10/1995 (lampiran B) dan SK Gubernur KDH TK I Sumbar No.660.1-614-1997 (lampiran B) influen tersebut melebihi baku mutu;
2. Hasil efisiensi pengolahan dengan media pendukung perlit pada instalasi tumbuhan: BOD 98,07-99,14%; COD 96,38-98,11%; TSS 89,70-97,00%; NH₃ 93,71-95,73%; N tot 81,58-95,91%; kenaikan pH menjadi 6,61-7,09, dan tanpa tumbuhan BOD 95,93-97,98%; COD 83,80-90,19%; TSS 86,57-89,71%; NH₃ 68,99-88,35%; N total 79,52-91,88%; kenaikan pH menjadi 6,4-6,77. Efisiensi penyisihan pencemar dengan instalasi tumbuhan rata-rata lebih besar 7% dibandingkan instalasi tanpa tumbuhan
3. Perlit mempunyai luas spesifik tinggi dan kapasitas adsorpsi tinggi dibandingkan dengan kerikil, sehingga mendukung pertumbuhan jumlah mikroorganisme lebih besar untuk menguraikan bahan pencemar. Perbedaan tingkat penyisihan perlit dan kerikil sekitar 6% lebih tinggi.

4. HLR optimum yang diperoleh sebesar 100 L/m².hr, namun peningkatan HLR tidak menghasilkan efisiensi yang terlalu signifikan perbedaannya, sehingga instalasi masih mampu untuk mengolah limbah dengan laju alir yang lebih besar

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan pada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi atas pendanaan penelitian melalui Program Penelitian BBI Tahun 2006.

DAFTAR PUSTAKA

- Alman, B.R. und Schulz-Berendt, V., (1992). Pflanzenkranlage zur Reinigung Ölhaltiger Abwasser aus einem Mineralölkranlage. Im DGMK Forschungsbericht 453. Hamburg, Germany.
- Attanandana, T., Luanmanee, S., Saitthiti, B., Panichacujakul, C. and Wakatsuki, T. (2000). A Comparative Study of Zeolite with other Materials as the Components of the Multi-soil Layering System for Wastewater Treatment. Managing Water and Waste in The New Millenium: The Challenges for Developing Areas. 23 – 26 May 2000. Volume Papers. Midrand/Johannesburg, South Africa.
- Bruhn. (1995). Abwasser Neue Ideen zum Abwasser die Schilf-klaranlagen. Die CDG Materialien Fachsprache: Dortmund, Germany.
- Departemen Perindustrian dan Perdagangan Bogor (2002). Buku Panduan Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Karet Remah. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan dan Balai Penelitian Teknologi Karet. Bogor.
- Gapkindo. (1994). Pedoman Umum Pengelolaan Industri Karet Remah.
- Gustari, A. (2004). Efisiensi Penyisihan Parameter Pencemar Limbah Cair Industri Karet pada Constructed Wetlands dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus* L.f (Mensiang). Tugas Akhir Teknik Lingkungan S-1 Universitas Andalas, Padang.
- Hardjowigeno, S. (1993). Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis. Edisi Pertama. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Kartasapoetra dan Mulyani. (1991). Pengantar Ilmu Tanah. Bandung: Rineka Cita.
- Kristanto, P. (2002) Ekologi Industri. Yogyakarta: Penerbit ANDI. LPPM Universitas Kristen Petra Surabaya.

Peran Media Pendukung Perlit Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Karet Menggunakan Tumbuhan Mensiang (*Scirpus Grossus L.F.*). (Studi Kasus: Limbah Cair Industri Karet Remah PT. Batang Hari Barisan Padang) (Puti Sri Komala, Salmariza Sy, dan Nelda Murti)

- Kurniadie, D. (1999). Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga dengan Menggunakan Tumbuhan Air (*Constructed Wetland for Wastewater Treatment*), <http://nakula.rvs.uni-bielefeld.de/majalah/23111998/artikeldeni.html>.
- Komala, P.S., Indah dan Putri. (2005). Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Tumbuhan Mensiang (*Scirpus Grossus L.F.*) dengan Variasi Laju Pembebanan Hidrolis. *Jurnal Teknik* Fakultas Teknik Universitas Andalas Vol. 2, No.23, April 2005, (ISSN 1854-8471)
- Komala, P.S., Primasari, Putri dan Gustari. (2005). Pengolahan Limbah Cair dengan Tumbuhan *Scirpus Grossus L.F.* *Jurnal Purifikasi* Vol. 6, No.2, Desember 2005, (ISSN 1411-3645) Terakreditasi Nasional B, Divisi Jurnal Purifikasi Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya
- Luederitz, V., Eckert, E., Lange-Weber, M., Lange, A., Gersberg, R.M. (2001). Nutrients Removal Efficiency and Resource Economics of Vertical and Horizontal Flow Constructed Wetlands. *Ecological Engineering*: 18 (2001) pp 157-171. Elsevier Science B.V.
- PUSARPEDAL (Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan). (1996). Materi Ajar Pelatihan Analisis Kualitas Air dan Limbah Cair Tahap I & III, Jakarta.
- Putri, E.D. (2004). Studi Kemampuan Tumbuhan Mensiang (*Scirpus grossus L.f*) dalam Mereduksi Parameter Pencemar pada Limbah Cair Hotel. Tugas Akhir S-1 Teknik Lingkungan Universitas Andalas, Padang.
- Salmariza, Sy dan Sofyan. (2001). Alternatif Lain Pengolahan Limbah Cair dengan Menggunakan Tumbuh-tumbuhan (Planzenklaranlage). *Jurnal Penelitian Litbang Industri Padang*.
- Sot, F., Garc, M., De Lu, E and E.B. (1999). Role of *Scirpus Lacustris* in Bacterial and Nutrient Removal from Wastewater. *Water Science and Technology*, Vol 40, No 30 (241-239) IWA Publishing.
- Tchobanoglous, G. (1991). *Waste Water Engineering Treatment Disposal and Reuse*. Third Edition, Mc Graw-Hill.
- Anonymous. Using Perlite in Potted Plants. (August 2, 2005). www.perlite.net;