

STUDI KEMAMPUAN TUMBUHAN MENSIANG (*Scirpus grossus L. f*) DALAM MEREDUKSI PARAMETER PENCEMAR (Studi Kasus: Limbah Cair Hotel Bumi Minang Padang)

Oleh
Puti Sri Komala, Shinta Indah, Eka Rini Dewi Putri
Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Unand

ABSTRAK

Konstruksi lahan basah (*wetland treatment system*) adalah salah satu alternatif sistem pengolahan limbah cair secara alami menggunakan tumbuhan. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan studi kasus limbah cair hotel Bumi Minang Padang, parameter yang dianalisis pH, BOD, COD dan TSS dan nitrogen total. Limbah cair hotel berwarna putih dengan kandungan pH (6–6,4) dan BOD berkisar (172,5–210) mg/l, COD (490-512) mg/l, TSS (308-603) mg/l, dan nitrogen total berkisar (14,83–81,12) mg/l, parameter tersebut berada di atas baku mutu yang berlaku. Penelitian dilakukan menggunakan tumbuhan Mensiang (*Scirpus grossus L. f*) dengan jumlah masing-masing instalasi 15 batang dan sebagai kontrol digunakan instalasi dengan ukuran media pendukung yang sama namun tanpa tumbuhan. Instalasi yang digunakan berukuran (45 x 45 x 60) cm dengan media pendukung dari atas ke bawah adalah tanah 10 cm, pasir 15 cm, kerikil halus 7,5 cm dan kerikil kasar 7,5 cm. Selama penelitian dilakukan variasi terhadap HLR (*Hydraulic Loading Rate*) yaitu 100 l/m².hari, 200 l/m².hari, 400 l/m².hari dan konsentrasi COD 150 mg/l, 275 mg/l serta 490 mg/l. Hasil penelitian menunjukkan semakin rendah HLR dan konsentrasi pencemar meningkatkan efisiensi penyisihan, sedangkan laju pertumbuhan terhambat dengan adanya peningkatan konsentrasi COD. Persentase pengolahan dengan tumbuhan untuk BOD₅ sebesar 78-98%, COD 87-97%, TSS 72-95% dan nitrogen total 81-98%. Adanya tumbuhan dapat meningkatkan efisiensi penyisihan sekitar 30% dibanding pengolahan tanpa tumbuhan dengan penyisihan parameter pencemar sekitar 60%.

Kata kunci: Konstruksi lahan basah, Mensiang (*Scirpus grossus L. f*), laju pembebanan hidrolis (HLR), COD.

PENDAHULUAN

Untuk mengatasi biaya pengolahan limbah perkotaan yang sangat tinggi telah diupayakan untuk mencari alternatif pengolahan limbah lain yang lebih murah, salah satu alternatif sistem pengolahan limbah cair tersebut yaitu sistem pengolahan secara alami menggunakan tumbuhan atau dikenal dengan nama konstruksi lahan basah (*wetland*).

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 ditanami dengan tumbuhan (Kurniadie, 1999).

Menurut penelitian yang dilakukan di Canada yang telah dimulai pada tahun 1980-an, bahwa tumbuhan *macrophyta* khususnya tumbuhan yang spesiesnya *Scolachloa* dan *Scirpus lacustris* mampu mereduksi kandungan organik yang tinggi dari air limbah khususnya nitrogen dan fospor. Di Spanyol *Scirpus*

lacustris menyisihkan nitrogen dan fospor 99,9% dalam air buangan domestik (Soft, 1999). Sistem pengolahan konstruksi lahan basah dengan tumbuhan di atasnya selain dapat mengurangi biaya pengolahan serta kebutuhan energi yang rendah, juga cocok untuk kota-kota kecil dengan penduduk 10.000-20.000 jiwa. Luederitz et.al. (2001) meneliti konstruksi lahan basah menggunakan tumbuhan alang-alang dapat menyisihkan lebih dari 90% senyawa organik serta total N dan P dari air buangan kota dengan luas pengolahan spesifik > 50m²/m³ per hari.

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 komposisi efisiensi penyisihan COD berkisar antara 60 – 86%, BOD 80-97% minyak & oli dari industri baja, oli tangki petroleum dan tumpahan minyak & oli dari kapal, serta *leachate* sisa komposisi (Altman & Schulz-Berendt, 1992).

Scirpus lacustris hidup di air dan memiliki bentuk morfologi 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 (Soejarni, 1987). *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 hotel dengan menggunakan tumbuhan Mensiang (*Scirpus grossus L.f*) dengan variasi konsentrasi COD dan laju pembebanan hidrolis.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian antara lain:

1. Meneliti kemampuan jenis tumbuhan *Scirpus grossus L.f* untuk menurunkan beban pencemar pada limbah cair hotel serta membandingkannya dengan baku mutu limbah yang berlaku.
2. Menentukan kondisi optimum laju pembebanan hidrolis dalam pengolahan limbah cair hotel dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus L.f*.
3. Membandingkan hasil pengolahan limbah cair dengan menggunakan instalasi tumbuhan dan tanpa tumbuhan.
4. Menentukan suatu pemodelan unit pengolahan limbah cair dengan teknik sederhana, mudah dan murah dalam operasionalnya.

Batasan Masalah

Batasan Penelitian ini adalah :

- Sumber limbah cair yang digunakan berasal dari efluen IPAL Hotel Bumi Minang Padang.
- Menggunakan instalasi tumbuhan Mensiang (*Scirpus grossus L. f*) dan instalasi tanpa tumbuhan dengan sistem pengaliran secara kontinu.
- Parameter yang akan diteliti adalah BOD, COD, pH, TSS dan nitrogen total.

METODOLOGI PENELITIAN

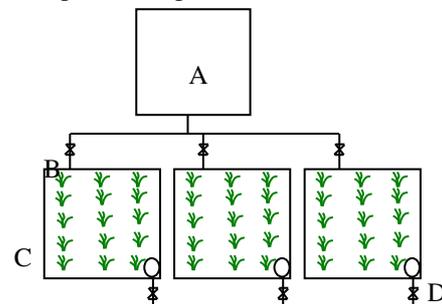
Sampel Limbah Cair Hotel Bumi Minang

Pengambilan sampel limbah cair dilakukan pada bak kontrol masing-masing saluran yang menuju ke *Sewage Treatment Plant* (STP), yaitu saluran dari dapur, laundry dan kamar mandi sedangkan analisis karakteristik dilakukan di laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri dan Perdagangan (BARISTAND INDAG) Padang. 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* (PUSARPEDAL, 1996). Untuk perhitungan debit dari masing-masing saluran dilakukan berdasarkan perbandingan persentase terhadap jumlah debit keseluruhan.

Konstruksi Instalasi

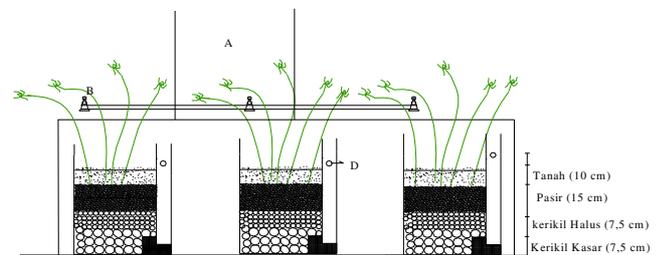
Dalam penelitian ini digunakan instalasi tumbuhan dan instalasi tanpa tumbuhan sebagai kontrol. Komponen pendukung instalasi tumbuhan sama dengan instalasi tanpa tumbuhan yang membedakan adalah penggunaan tumbuhan dan tanpa tumbuhan. Denah instalasi tumbuhan dapat dilihat pada Gambar 1 dan skema penampang dan media pendukung pada instalasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Keterangan :

- A: Bak Penampung Limbah cair B: Inlet
C : Instalasi dengan Tumbuhan D: Outlet

Gambar 1. Denah Instalasi Tumbuhan



Gambar 2. Skema Penampang dan Media Pendukung pada Instalasi Tumbuhan

Instalasi tumbuhan secara keseluruhan terdiri dari:

- Bak penampung limbah cair yang berbentuk segi empat (A) yang berfungsi untuk menampung limbah yang akan dialirkan ke instalasi dengan ukuran 45 x 45 x 60 cm yang terbuat dari bahan fiberglass.
- Dari bak penampung, limbah akan dialirkan melalui pipa inlet (B) PVC ½ inchi ke tiga buah bak instalasi tumbuhan (C). Instalasi mempunyai ukuran dan terbuat dari bahan yang sama dengan bak penampung. Pada instalasi digunakan media pendukung yang terdiri dari:
 - Lapisan tanah berfungsi sebagai media menempelnya akar dan media untuk hidup bagi mikroorganisme. Tanah yang digunakan dalam

penelitian ini adalah tanah yang kaya dengan unsur hara dengan tinggi 10 cm.

- Pasir yang berfungsi sebagai penyaring bagi air yang telah di proses pada lapisan tanah. Pasir yang digunakan yaitu pasir sungai. Diameter pasir yang digunakan 0-2 mm dengan ketebalan 15 cm.
- Lapisan kerikil halus dan kerikil kasar yang merupakan lapisan paling bawah media pendukung. Diameter kerikil kasar yang digunakan 1-2 cm, sedangkan kerikil halus berukuran 2-5 mm. Ketebalan kerikil halus dan kasar masing-masing 7,5 cm.
- Setiap bak instalasi tumbuhan dilengkapi satu pipa outlet PVC (½ inchi) (D) yang berfungsi mengalirkan hasil olahan instalasi dari bak penampung efluen pada bak instalasi tumbuhan melalui pipa PVC DN 10 mm (1½ inchi). Setiap bak instalasi tumbuhan dilengkapi pipa drain untuk mengeluarkan limbah dari instalasi.

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

Dalam penelitian ini diambil anak tumbuhan Mensiang (*Scirpus grossus L.f*) 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.

Percobaan

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

- Percobaan Pendahuluan

Percobaan pendahuluan ini bertujuan untuk menentukan waktu detensi limbah dalam bak instalasi dimulai sejak influen dialirkan ke dalam bak sampai pada saat efluen mengalir pada outlet ditambah dengan waktu untuk mencapai kondisi tunak yang ditentukan melalui pemeriksaan COD sampai dengan nilai yang konstan. Setelah kondisi ini tercapai instalasi siap untuk digunakan dalam percobaan utama.

Dalam percobaan ini limbah dialirkan ke dalam bak penampung limbah dengan konsentrasi influen limbah yang tidak terlalu tinggi untuk menghindari *shock loading*, kemudian dari bak penampung limbah dialirkan ke dalam 3 buah bak instalasi tumbuhan dengan laju pembebanan hidrolis (HLR) yang berbeda.

- Percobaan Utama

Percobaan utama dilakukan menggunakan variasi konsentrasi limbah dan laju pembebanan hidrolis (HLR) yang berbeda dengan tujuan untuk melihat kemampuan instalasi dalam menerima beban

pengolahan dengan konsentrasi tersebut. Besarnya konsentrasi yang digunakan mengacu pada hasil sampling terhadap limbah cair Hotel Bumi Minang serta beberapa variasi konsentrasi lainnya.

Pada setiap percobaan dilakukan dengan menggunakan konsentrasi influen yang sama pada setiap dengan laju pembebanan hidrolis (*hydraulic loading rate*) yang berbeda di setiap bak. Dalam *runningnya* dimulai dengan konsentrasi rendah kemudian dilanjutkan ke konsentrasi yang lebih tinggi, agar tidak terjadi *shock loading* pada instalasi.

Analisis sampel dilakukan pada influen dan efluen, yang diambil dari masing-masing instalasi setelah perioda detensi yang telah ditentukan pada percobaan pendahuluan. Parameter yang diukur adalah: pH dengan, BOD₅, COD dan TSS, serta nitrogen total.

Pada percobaan ini juga akan diamati laju pertumbuhan tanaman mulai dari konsentrasi influen rendah sampai ke konsentrasi yang tinggi. Pada saat mulai dimasukkan konsentrasi baru ke dalam bak akan dihitung jumlah anakan yang timbul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sampel Limbah Cair Hotel Bumi Minang

Hotel Bumi Minang mempunyai beberapa sumber air buangan yang akan disalurkan ke *Sewage Treatment Plant* (STP), yakni dapur, *laundry* dan dari kamar mandi serta kloset. Dari hasil pengamatan yang dilakukan bulan April 2004 didapatkan debit rata-rata 105,3 m³/hari dengan debit dari masing-masing saluran yakni dari kamar mandi 27,15 m³/hari, dari dapur 53,15 m³/hari dan dari *laundry* 25 m³/hari, seperti yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Hotel

Keterangan	pH	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TSS (mg/l)
Inlet IPAL	6-6,4	490-512	172,5-210	308-603
Baku Mutu	6-9	50	30	50

Sumber: Hasil Pemeriksaan Laboratorium, 2003-2004

Dari data pemeriksaan di laboratorium terlihat bahwa limbah cair hotel berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan.

2. Variasi Pembebanan Limbah Cair Hotel Bumi Minang

Dalam penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi COD, yaitu konsentrasi COD sesuai dengan karakteristik limbah cair hotel yaitu 490 mg/l, serta variasi konsentrasi lainnya dengan pengenceran seperti yang terlihat pada Tabel 2. Dari variasi konsentrasi COD tersebut akan diamati konsentrasi yang paling optimal yang dapat disisihkan melalui pengolahan.

Tabel 2. Variasi Konsentrasi COD

No	Variasi Konsentrasi	Konsentrasi (mg/l)
1	Tanpa Pengenceran	490
2	Satu kali pengenceran	275
3	Dua kali pengenceran	150

3. Percobaan Pendahuluan

Dalam percobaan ini diharapkan baik instalasi tumbuhan maupun tanpa tumbuhan mencapai kondisi tunak, sehingga siap untuk digunakan pada percobaan utama.

Waktu Detensi

Dari percobaan pada instalasi yang menggunakan tumbuhan dan instalasi yang tidak menggunakan tumbuhan diperoleh waktu detensi seperti yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Waktu Detensi Bak dengan Tumbuhan

No	HLR (l/m ² .hari)	Waktu detensi (menit)	
		Dengan Tumbuhan	Tanpa Tumbuhan
1	100	32 jam 33 menit	29 jam 42 menit
2	200	20 jam 44 menit	17 jam 31 menit
3	400	9 jam 40 menit	6 jam 26 menit

Konsentrasi influen yang digunakan adalah 86 mg/l pada instalasi tumbuhan dan 92 mg/l untuk instalasi tanpa tumbuhan. Dari tabel terlihat bahwa waktu detensi bak dengan tumbuhan lebih lama dari pada bak tanpa tumbuhan karena pada instalasi tumbuhan terjadi proses penyerapan selain pada tanah juga pada tumbuhan setelah melebihi kapasitas penyerapan keduanya barulah efluen mengalir, sementara tanpa tumbuhan langsung dialirkan ke tanah. Waktu detensi dipengaruhi juga oleh *HLR*, semakin kecil *HLR* semakin besar waktu detensi dan sebaliknya semakin besar *HLR* semakin kecil waktu detensinya.

Penyisihan COD pada kondisi tunak

Tabel 4 memperlihatkan profil konsentrasi COD dan waktu detensi terhadap variasi laju pembebanan pada instalasi tumbuhan sampai mencapai kondisi tunak. Kondisi tunak untuk instalasi dengan tumbuhan dicapai setelah waktu 35 jam 33 menit pada HLR 100 l/m².hari, 23 jam 44 menit pada HLR 200 l/m².hari, 12 jam 40 menit pada HLR 400 l/m².hari. Untuk percobaan selanjutnya ditetapkan waktu pengambilan sampel pada instalasi dengan tumbuhan maupun tanpa tumbuhan mengikuti waktu detensi tersebut.

4. Percobaan Utama

Ssetelah kondisi instalasi tunak, instalasi siap untuk melakukan percobaan dengan variasi COD dan pembebanan yakni: 150, 275 dan 490 mg/l dan variasi *HLR* (100 l/m².hari, 200 l/m².hari, 400 l/m².hari) dengan waktu detensi yang telah diperoleh pada percobaan pendahuluan, kemudian dilakukan pengamatan terhadap beban hidrolis. Analisis

dilakukan terhadap influen dan efluen dengan parameter pH, BOD₅, COD dan TSS serta nitrogen total.

Tabel 4. Penyisihan COD pada Instalasi Tumbuhan Sampai Kondisi Tunak

No	Waktu	Efluen Bak 1 (mg/l)	Efluen Bak 2 (mg/l)	Efluen Bak 3 (mg/l)
COD Influen = 86 mg/l				
1	Satu jam pertama	5,5	9	15
2	Satu jam kedua	4	8,5	14,5
3	Satu jam tiga	4	8	14

Tabel 5. Penyisihan COD pada Instalasi tanpa Tumbuhan Sampai Kondisi Tunak

No	Waktu	Efluen Bak 1 (mg/l)	Efluen Bak 2 (mg/l)	Efluen Bak 3 (mg/l)
COD Influen = 86 mg/l				
1	Satu jam pertama	9,5	12	19
2	Satu jam kedua	9	12	19
3	Satu jam tiga	9	12	19

- pH

Hasil analisis pH dengan instalasi tumbuhan dan tanpa tumbuhan terhadap variasi HLR (*Hydraulic loading rate*) dan konsentrasi influen COD dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. pH pada Instalasi Tumbuhan dan tanpa Tumbuhan

Konsentrasi COD (mg/l)	HLR	dengan Tumbuhan		tanpa Tumbuhan	
		pH Inf	pH Ef	pH Inf	pH Ef
150	100 l/m ² .hari	6,00	7,41	6,20	6,80
	200 l/m ² .hari		7,36		7,18
	400 l/m ² .hari		7,26		7,17
275	100 l/m ² .hari	6,16	7,30	6,25	6,60
	200 l/m ² .hari		7,02		6,65
	400 l/m ² .hari		7,05		6,74
490	100 l/m ² .hari	6,20	6,98	6,35	6,93
	200 l/m ² .hari		6,89		6,75
	400 l/m ² .hari		6,85		6,72

Setelah melewati instalasi tumbuhan pH influen yang semula bersifat asam berkisar 6 - 6,2, dengan tiga variasi *HLR* (100 l/m².hari, 200 l/m².hari, 400 l/m².hari) dan konsentrasi COD (150, 275 dan 490 mg/l) pH efluen naik menjadi sekitar 6,85 - 7,4. 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-ion H⁺ dan kation-kation lain serta ion hidrogen salah satu faktor yang mempengaruhi pertukaran aktivitas enzim dalam pertumbuhan mikroorganisma (Benfield, 1980). Pada instalasi tanpa tumbuhan

juga terjadi hal yang sama yaitu pada awalnya pH asam (6,2-6,34), setelah melewati pengolahan pH naik menjadi 6,60-7,17. Hal ini dikarenakan sifat alami tanah yang mempunyai kapasitas untuk menetralkan pH (Hardjowigeno, 1993).

- Penyisihan BOD₅

Penyisihan BOD pada instalasi tumbuhan dan tanpa tumbuhan dapat dilihat pada Tabel 7 dan 8.

Tabel 7. Penyisihan BOD₅ pada Instalasi Tumbuhan

BOD Influen	COD Inf.	HLR (l/m ² .hr)	BOD Efluen	% Penyisihan	Baku Mutu
65,07	150	100	1,20	98,16	30 mg/l
		200	4,52	93,05	
		400	5,40	91,71	
109,69	275	100	7,56	93,11	
		200	10,37	90,55	
		400	16,48	84,97	
210,97	490	100	26,22	87,57	
		200	38,93	81,55	
		400	45,61	78,38	

Tabel 8 Penyisihan BOD₅ pada Instalasi tanpa Tumbuhan

BOD Inf (mg/l)	COD Inf. (mg/l)	HLR (l/m ² .hr)	BOD Efluen	% Penyisihan	Baku Mutu
63,25	150	100	21,45	66,08	30 mg/l
		200	28,45	55,03	
		400	28,69	54,64	
103,13	275	100	35,92	65,17	
		200	39,63	61,57	
		400	41,38	59,88	
207,68	490	100	75,48	63,65	
		200	76,69	63,07	
		400	76,73	63,05	

Pada Tabel 7 dan 8 terlihat 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, dimana konsentrasi BOD₅ 65,07 mg/l mempunyai efisiensi penyisihan yang lebih tinggi dibanding konsentrasi BOD₅ influen 109,69 mg/l dan 210,97 mg/l, sementara *HLR* 100 l/m².hari mempunyai efisiensi optimum dibanding *HLR* 200 dan 400 l/m².hari, hal ini terjadi karena tingginya konsentrasi pencemar, sehingga instalasi tidak sanggup mengolah limbah dengan beban organik tinggi. Selain itu singkatnya waktu detensi mengakibatkan singkatnya waktu bagi mikroorganisme untuk menguraikan semua zat organik yang ada pada lapisan-lapisan filter tanah pada instalasi tumbuhan (Syalmaliza & Sofyan, 1999).

Variasi *HLR* berbanding terbalik dengan persentase penyisihan BOD, semakin kecil *HLR* semakin besar persentase penyisihan, dimana tumbuhan menyuplai oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan zat organik dalam waktu yang relatif

lama. Hasil uraian zat organik diserap kembali oleh tanaman untuk digunakan lagi sebagai makanan untuk tumbuh, sehingga akhirnya substansi-substansi yang terdapat dalam air limbah akan diserap oleh tanaman dan menjadi biomassa tanaman itu sendiri.

Penyisihan pada BOD₅ dengan pengenceran dan tanpa pengenceran cukup signifikan, karena dipengaruhi oleh perbedaan beban yang diterima oleh instalasi, hal ini dapat dilihat dari hasil persentase penyisihan BOD₅ dengan pengenceran dua kali adalah (92-98)%, sementara tanpa pengenceran persentase penyisihan sekitar (78-88)%.

Dari hasil penelitian didapatkan pengolahan dengan instalasi tumbuhan ini mampu menurunkan parameter pencemar BOD₅ sekitar 78%-98%. Hal ini diperkuat juga dari beberapa hasil penelitian yang menunjukkan bahwa efisiensi sistem ini dalam menurunkan kadar zat pencemar limbah cair cukup tinggi, menurut Luederitz (2001) di Einsdorf sistem ini dapat menurunkan kadar BOD₅ sampai persentase penyisihan 95 %, sementara di Wolfsberg persentase penyisihannya mencapai 99%. Penelitian Kurniadie (1999) menunjukkan, pengolahan dengan instalasi tumbuhan ini mempunyai efisiensi penurunan BOD₅ (90-97)%, dimana penyisihan BOD terjadi melalui proses aerob dan anaerob. Proses aerob terjadi di daerah sekitar akar, sedangkan anaerob terjadi pada lapisan media pendukung seperti pada tanah dan pasir. Efisiensi yang tinggi juga karena adanya kerjasama antara komponen yang ada dalam instalasi, dimana tumbuhan menyuplai oksigen ke daerah perakaran dan ditunjang oleh mikroorganisme yang terdapat pada lapisan tanah dan pasir.

Limbah hotel secara keseluruhan mempunyai kandungan beban organik BOD/COD sekitar 0,4 - 0,43, nilai rasio ini menunjukkan bahwa limbah cair hotel bersifat sulit diuraikan secara biologis. Meskipun ditinjau dari rasio BOD/COD yang rendah, dimana limbah tersebut sulit diuraikan oleh mikroorganisme yang ada secara biologis, namun dengan adanya proses fisika dan kimia melalui tumbuhan dan tanah, penyisihan senyawa organik masih dapat ditingkatkan.

- Penyisihan COD

Tabel 9 dan 10 menunjukkan penyisihan pencemar COD dengan dan tanpa menggunakan tumbuhan. Berdasarkan tabel 9 dan 10, pengolahan dengan instalasi tumbuhan mempunyai efisiensi penyisihan sebesar 89 - 97 %, sementara pengolahan tanpa instalasi tumbuhan, efisiensi yang bisa dicapai berkisar 48 - 66%.

Tabel 9. Penyisihan COD pada Instalasi Tumbuhan

COD Inf. (mg/l)	HLR (l/m ² .hr)	COD Efluen (mg/l)	% Penyisihan	Baku Mutu
150	100	4	97,33	50 mg/l
	200	10	93,33	
	400	13	91,33	
275	100	16	94,18	
	200	25	90,91	
	400	30	89,09	
490	100	29	94,08	
	200	64	86,94	
	400	40	91,84	

Tabel 10. Penyisihan COD Instalasi tanpa Tumbuhan

COD Inf. (mg/l)	HLR (l/m ² .hr)	COD Eff. (mg/l)	% Penyisihan	Baku Mutu
152,5	100	52	65,90	50 mg/l
	200	70	54,10	
	400	70,5	53,77	
278	100	113	59,35	
	200	125	55,04	
	400	130	53,24	
495	100	210	57,58	
	200	257,5	47,98	
	400	258	47,88	

Tingginya efisiensi penyisihan yang dicapai dengan instalasi tumbuhan disebabkan karena proses respirasi tanaman, dimana tanaman tersebut menghisap oksigen dari udara melalui batang, daun batang, akar dan *rhizomenya* yang kemudian dilepaskan kembali pada daerah perakaran, terjadi 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 akhirnya membentuk biomassa bagi tanaman, sebagai gas ke atmosfer dan sebagai air yang telah bersih.

Hasil efluen untuk pengolahan tanpa tumbuhan didapatkan persentase penyisihan cukup jauh dibanding instalasi menggunakan tumbuhan untuk masing-masing *HLR*, sebagai contohnya untuk *HLR* 100 l/m².hari, jika pengolahan menggunakan tumbuhan di dapat persentase penyisihan 94% dan tanpa menggunakan tumbuhan sebesar 58%. Adanya pengolahan dengan instalasi tumbuhan mampu meningkatkan efisiensi penyisihan rata-rata 30-43 % lebih tinggi dibanding tanpa tumbuhan.

Data-data hasil penelitian dengan persentase penyisihan COD yang tinggi ini didukung juga dari beberapa peneliti lainnya. Menurut Geller (1995) sistem ini dapat menurunkan kadar COD (95 – 99) % dan menurut Kurniadie (1999) instalasi ini dapat menurunkan COD dari (86–97)%. Semakin tinggi *HLR* semakin rendah persentase penyisihan yang didapatkan, jadi dapat dikatakan bahwa *HLR* berbanding terbalik dengan persentase penyisihan.

Metcalf dan Eddy (1999) menyatakan bahwa *HLR* sangat berpengaruh dalam pengolahan limbah cair terutama terhadap laju dekomposisi. Semakin rendah *HLR*, laju dekomposisi akan berlangsung secara perlahan pula, sehingga waktu tinggal lebih lama yang akan membuat laju dekomposisi tersebut berlangsung lebih sempurna dan sebaliknya.

- Penyisihan TSS

Tabel 11 dan 12 menunjukkan penyisihan TSS dengan variasi konsentrasi dan *HLR (Hydraulic loading rate)* pada instalasi tumbuhan dan tanpa tumbuhan. Penyisihan TSS pada instalasi tumbuhan didapatkan berkisar antara 77 - 95%, sementara tanpa tumbuhan persentase penyisihan TSS sekitar 58 – 67%. Pengolahan dengan instalasi tumbuhan mampu menyisihkan 20 – 28 % lebih tinggi dibanding tanpa tumbuhan.

Tabel 11. Penyisihan TSS pada Instalasi Tumbuhan

TSS Inf (mg/l)	COD Inf	HLR (l/m ² .hr)	TSS Eff (mg/l)	% Penyisihan	Baku Mutu
131	150	100	6	95,42	50 mg/l
		200	11,5	89,80	
		400	37	71,76	
299,5	275	100	29,5	90,15	
		200	47	84,31	
		400	49,5	83,47	
602,5	490	100	49	91,87	
		200	134,5	77,68	
		400	135,5	77,51	

Tabel 12. Penyisihan TSS Instalasi tanpa Tumbuhan

TSS Inf (mg/l)	COD Inf. (mg/l)	HLR (l/m ² .hr)	TSS Eff. (mg/l)	% Penyisihan	Baku Mutu
133	150	100	43,5	67,29	50 mg/l
		200	55	58,65	
		400	55,5	58,27	
285,5	275	100	105,5	63,05	
		200	119	58,32	
		400	121	57,62	
603	490	100	215	64,34	
		200	217,5	63,93	
		400	225	62,69	

Peningkatan konsentrasi TSS mengakibatkan terjadinya penurunan penyisihan baik terhadap instalasi dengan tumbuhan dan tanpa tumbuhan Mensiang (*Scirpus grossus L.f*), penurunan penyisihan TSS dipengaruhi oleh besarnya beban yang diolah oleh instalasi, selain itu semakin besar konsentrasi TSS dapat menyebabkan *clogging* sehingga dapat mempengaruhi penyisihan yang terjadi.

Penyisihan TSS optimal dicapai pada laju pembebanan *HLR* 100 l/m².hari dengan persentase penyisihan 95 % pada instalasi tumbuhan dan 67 % tanpa tumbuhan, hal ini disebabkan kecilnya beban

yang dialirkan ke instalasi sehingga proses-proses pengolahan berlangsung lebih sempurna dibanding dengan laju pembebanan *HLR* 200 l/m².hari dan 400 l/m².hari. Selain itu dalam proses penyisihan di lapisan tanah terjadi proses pembersihan secara mekanis dan secara biologis oleh akar tanaman serta mikroorganisme yang terdapat pada substrat tanah (Bruhn, 1995). Selanjutnya pada lapisan pasir, kerikil halus dan kasar terjadi proses filtrasi, dimana limbah dengan kandungan TSS yang tinggi akan disaring oleh media filter tersebut (Salmariza & Sofyan, 1999).

- Penyisihan Nitrogen Total

Penyisihan Nitrogen total pada instalasi tumbuhan dan tanpa tumbuhan dapat dilihat pada Tabel 13 dan Tabel 14.

Tabel 13. Penyisihan Nitrogen Total pada Instalasi Tumbuhan

Nitrogen Inf (mg/l)	COD Inf (mg/l)	HLR (l/m ² .hr)	Nitrogen Eff (mg/l)	% Penyisihan
14,83	150	100	0,27	98,16
		200	1,34	90,95
		400	1,81	87,83
39,48	275	100	2,62	93,36
		200	3,28	91,70
		400	4,83	87,77
81,12	490	100	7,69	90,52
		200	7,73	90,47
		400	15,34	81,09

Tabel 14. Penyisihan Nitrogen pada Instalasi tanpa Tumbuhan

Nitrogen Inf (mg/l)	COD Inf (mg/l)	HLR (l/m ² .hr)	Nitrogen Eff (mg/l)	% Penyisihan
14,18	150	100	4,99	64,82
		200	5,29	62,69
		400	5,20	63,31
38,01	275	100	14,92	60,75
		200	15,12	60,22
		400	15,13	60,19
81,50	490	100	29,52	63,77
		200	31,67	61,14
		400	31,27	61,63

Secara keseluruhan penyisihan nitrogen dengan instalasi tumbuhan berkisar 81– 98%, sedangkan tanpa tumbuhan penyisihan nitrogen sekitar 61 – 65 %, terlihat bahwa pengolahan dengan instalasi tumbuhan mampu menyisihkan 20 – 33% lebih tinggi dibanding tanpa tumbuhan.

Seperti pada penyisihan parameter lainnya semakin tinggi konsentrasi nitrogen total terjadi penurunan penyisihan, hal ini dipengaruhi oleh besarnya beban yang diolah instalasi. Pengolahan pada instalasi tumbuhan untuk penyisihan nitrogen total cukup tinggi, dimana terjadi proses oksidasi NH₄-N oleh bakteri autotrop yang tumbuh di sekitar akar menjadi nitrat, kemudian menjadi nitrit yang pada kondisi anaerobik dirubah oleh bakteri fakultatif anaerobik

menjadi gas N₂. Proses oksidasi yang terjadi di daerah *rhizosphere* mempunyai peranan penting pada proses penjernihan limbah cair (Kurniadie, 1999).

Menurut Geller (1995) sistem ini dapat menurunkan kadar nitrogen sekitar 71-97%. Proses yang terjadi di daerah sekitar akar yang bersifat aerob memungkinkan berbagai aktivitas bakteri pengurai bahan organik pencemar dan unsur pencemar (nitrogen dan fosfor) meningkat, sehingga penyisihan nitrogenpun akan meningkat. Metcalf & Eddy (1991) menyatakan bahwa *HLR* sangat berpengaruh dalam pengolahan air limbah terutama terhadap laju dekomposisi dan denitrifikasi.

Penyisihan Pencemar dengan Instalasi Tumbuhan

Dari beberapa variasi konsentrasi COD yang diteliti, konsentrasi optimum limbah cair hotel dengan penyisihan BOD₅, TSS dan nitrogen total yang maksimal melalui pengolahan baik dengan tumbuhan maupun tanpa tumbuhan adalah COD 150 mg/l, dimana konsentrasi ini adalah yang terendah dibanding dua konsentrasi lainnya (275 dan 490 mg/l). Dengan rendahnya pembebanan yang diberikan, maka proses pengolahan terjadi lebih optimum dibanding konsentrasi COD 275 dan 490 mg/l.

Pengolahan dengan instalasi tumbuhan, dimana limbah cair yang diserap oleh lapisan media bagian atas, diuraikan oleh mikroorganisme, disamping itu melalui proses respirasi tumbuhan oksigen dilepaskan di daerah sekitar perakaran (*rhizosphere*), sehingga membantu mikroorganisme untuk menguraikan zat organik. Hasil uraian zat organik diserap kembali oleh tanaman sebagai makanan, sehingga akhirnya substansi-substansi yang terdapat dalam air limbah akan diserap oleh tanaman dan menjadi biomassa tanaman itu sendiri. Proses lainnya yang terjadi dalam unit pengolahan yang terdiri dari: adsorpsi, filtrasi, nitrifikasi serta denitrifikasi, mampu menyisihkan parameter pencemar cukup tinggi, hal ini terlihat dari penyisihan pencemar COD dengan efisiensi penyisihannya 87-97%, TSS 72-95% dan nitrogen total 98-81% serta BOD₅ sekitar 78-98% dengan rasio organik BOD/COD berkisar 0,4-0,43. Nilai rasio ini menunjukkan bahwa limbah cair hotel bersifat sulit diuraikan secara biologis. Meskipun ditinjau dari rasio BOD/COD yang rendah limbah cair tersebut sulit diuraikan secara biologis oleh mikroorganisme yang ada, namun dengan adanya proses fisika dan kimia melalui tumbuhan dan tanah, penyisihan senyawa organik masih dapat ditingkatkan.

Penyisihan Parameter Pencemar melalui Tanah

Secara umum pengolahan tanpa tumbuhan terjadi juga proses pengolahan limbah, hal ini dapat dilihat dari persentase penyisihan pencemar baik BOD₅, COD, TSS dan Nitrogen total. Pengolahan tanpa instalasi tumbuhan penyisihan parameter pencemar dicapai untuk parameter pencemar TSS (63-67)%, BOD₅ (62-66)%, COD (66-48)% dan nitrogen total (65-60)%. Dari percobaan terlihat variasi HLR tidak terlalu berpengaruh terhadap pH efluen dan secara keseluruhan merubah pH ke kondisi netral. Hal ini disebabkan oleh sifat alami tanah yang mempunyai kapasitas untuk menetralkan pH (Hardjowigeno, 1993). Pada dasarnya faktor yang berperan dalam pengolahan dengan tumbuhan adalah tanah (sekitar 60%), namun pengolahan dengan adanya tumbuhan efisiensi penyisihan dapat ditingkatkan sekitar 32%.

7. Laju Pertumbuhan Tanaman

Laju pertumbuhan tanaman ditandai dengan bertambah tingginya batang pada tumbuhan dan bertambahnya jumlah anakan. Dimulai kondisi awal dengan jumlah tumbuhan 15 batang masing-masing bak. Untuk pertambahan tinggi dari batang selama lebih kurang satu minggu setinggi 6 cm. Pengamatan terhadap laju pertumbuhan tanaman dilakukan selama satu minggu setelah dialirkan limbah ke instalasi dari konsentrasi pertama ke konsentrasi berikutnya, pengamatan laju penambahan tumbuhan dapat dilihat pada Tabel 15 dan Gambar 3.

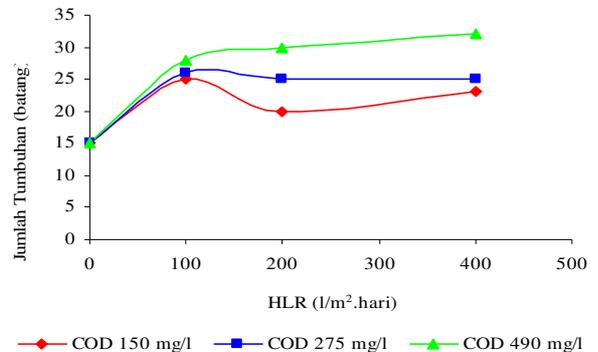
Pada konsentrasi 150 mg/l terjadi peningkatan laju pertumbuhan sekitar 5-10 batang masing-masing HLR, sedangkan konsentrasi 275 mg/l terjadi pertambahan tanaman sekitar 1-5 batang. Pada konsentrasi 490 mg/l pertambahan tanaman sekitar 2-7 batang.

Tabel 15. Penambahan Tumbuhan Masing-Masing Bak

No	Konsentrasi COD	HLR 100 (l/m ² .hr)	HLR 200 (l/m ² .hr)	HLR 400 (l/m ² .hr)
1.	Konsentrasi 150 mg/l	Awal (T= 0 hari)	15 batang	15 batang
		Jumlah akhir (T=7 hari)	25 batang	20 batang
2.	Konsentrasi 275 mg/l	Awal (T= 7 hari)	25 batang	20 batang
		Jumlah akhir (T=14 hari)	26 batang	25 batang
3.	Konsentrasi 490 mg/l	Awal (T= 14 hari)	26 batang	25 batang
		Jumlah akhir (T=21 hari)	28 batang	30 batang

Dari pengamatan terlihat bahwa laju pertumbuhan akan meningkat pada konsentrasi COD yang rendah, dan laju pertumbuhan tanaman akan terhambat, dengan peningkatan konsentrasi COD khususnya untuk HLR rendah, sedangkan pada HLR lebih tinggi laju pertumbuhan tanaman relatif konstan bahkan dengan peningkatan konsentrasi COD. Artinya dengan waktu detensi yang lebih lama pada

HLR rendah konsentrasi organik yang meningkat menyebabkan terhambatnya laju pertumbuhan tanaman. Sebaliknya dalam waktu detensi yang singkat laju pertumbuhan tanaman tidak terhambat meskipun beban senyawa organik meningkat.



Gambar 3. Laju Pertumbuhan Tanaman

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dalam penelitian limbah cair hotel mempunyai Influen sebagai berikut: pH (6–6,4) berwarna putih dan BOD berkisar (172,5–210) mg/l, COD (490-512) mg/l, TSS (308-603) mg/l, dan nitrogen total berkisar (14,83–81,12) mg/l dengan influen berada diatas baku mutu yang telah ditetapkan.
2. Secara umum pengolahan dengan instalasi tumbuhan mampu menurunkan parameter pencemar dengan persentase penyisihan BOD 78-98%, COD 87-97% dengan rasio organik BOD/COD berkisar 0,4-0,43, TSS 72-95,42% dan nitrogen total 81-98% sedangkan pengolahan tanpa tumbuhan berada diatas baku mutu dengan persentase penyisihan BOD 55-64%, COD 48-68%, TSS 58-67% dan nitrogen total 46-64% serta pH dapat dinaikkan baik instalasi tumbuhan (6,85–7,41) dan tanpa tumbuhan pH (6,65-7,18).
3. Dari variasi HLR (*Hydraulic loading rate*) dan konsentrasi COD, HLR optimum didapat sebesar 100 l/m².hari dan konsentrasi COD optimum influen yang diperoleh pada konsentrasi COD influen 150 mg/l.
4. Dari penelitian baik instalasi tumbuhan dan tanpa tumbuhan terlihat HLR (*Hydraulic loading rate*) dan konsentrasi berbanding terbalik dengan efisiensi penyisihan, semakin rendah HLR dan konsentrasi COD maka semakin tinggi efisiensi penyisihan.
5. HLR mempengaruhi waktu detensi, semakin kecil HLR semakin lama waktu detensi yang dibutuhkan karena waktu tinggal yang lebih

- lama sehingga proses-proses yang terjadi dalam instalasi akan berlangsung sempurna.
6. Mekanisme yang paling berperan dalam pengolahan dengan tumbuhan adalah pada tanah (sekitar 60%) dimana terjadi proses penguraian oleh mikroorganisme disamping berlangsung juga proses: adsorpsi, biodegradasi, filtrasi dan nitrifikasi serta denitrifikasi, namun pengolahan dengan instalasi tumbuhan mempunyai efisiensi beban pengolahan sekitar 26-32% lebih tinggi dibanding tanpa tumbuhan.
 7. Laju pertumbuhan akan meningkat pada konsentrasi COD rendah namun laju pertumbuhan akan terhambat dengan peningkatan konsentrasi COD pada HLR rendah, namun pada HLR tinggi peningkatan COD tidak menghambat laju pertumbuhan.

SARAN

1. Menentukan karakteristik dan ketebalan media pendukung yang optimum., sehingga diperoleh penyisihan pencemar yang maksimal .
2. Menambah variasi pembebanan hidrolis terhadap instalasi, baik untuk HLR dan konsentrasi influen sehingga didapatkan pembebanan hidrolis optimum.
3. Meneliti luas kebutuhan lahan untuk pengolahan serta laju pembebanan hidrolis berdasarkan kapasitas yang diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Altman B.R. und Schulz-Berendt V, *Planzenklaranlage zur Reinigung Olhaltiger Abwasser aus einem mineralotanklager*, Im DGMK Forschungsbericht 453, Hamburg, Jerman, 1992.
2. Hardjowigeno, S, *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*, Edisi Pertama. Akademika Pressindo, Jakarta, 1993.
3. Kurniadi, D, *Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga dengan menggunakan Tumbuhan Air (Constructed wetland for wastewater treatment)*, 2004<http://nakula.rvs.unibielefeld.de/majalah/23-111998/artikeldeni.ht>
4. Luederitz, et, al, *Nutrients Removal Efficiency and Resource Economics of Vertical Flow and Horizontal Flow Constructed Wetlands*, Germany, 2001.
5. Metcalf & Eddy Inc, *Waste water Engineering Treatment Disposal and Reuse*, Mc Graw-Hill, Third edition, 1991.
6. PUSARPEDAL (Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan), *Materi Ajar Pelatihan Analisis Kualitas Air dan Limbah Cair Tahap I & III*, Jakarta, 1996.
7. Salmariza & Sofyan, *Alternatif lain pengolahan limbah cair dengan menggunakan tumbuhan (Planzenklaranlage)*, Jurnal penelitian Litbang Industri padang, 1999.
8. Soejarni, M, & A, J, GH, Kostermans Gembong, T, *Weeds of Rice in Indonesia*, Balai Pustaka, Jakarta, 1987.
9. Soft, F, et al, *Role of Scirpus Lacustris in Bacterial and Nutrient Removal from Wastewater*, Water Science and Technology Vol 40 No 3 pp 241-329, IWA Publishing, 1999.