

PENGUNAAN REAKTOR BIOFILTER BERMEDIA ZEOLIT-ARANG AKTIF DAN TUMBUHAN AIR DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU UNTUK MENURUNKAN TINGKAT PENCEMARAN PERAIRAN

.....

Sampe Harahap

Abstrak

Pengolahan limbah cair tahu sangat penting dilakukan karena mencemari badan air, penelitian yang telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini adalah penggunaan reaktor biofilter bermedia zeolit-arang aktif serta tumbuhan air untuk menurunkan tingkat pencemaran perairan. Pengolahan limbah cair tahu yang dirancang dengan menggunakan media tersebut di atas dapat menurunkan tingkat pencemaran air, dengan waktu tinggal (retention time) 5, 10 dan 15 hari, parameter limbah cair yang diukur meliputi; TSS (102,0 mg/L), pH (6,0 mg/L), DO (3,6 mg/L) BOD5 (88,0 mg/L), COD (141,0 mg/L), ammonia (1,4 mg/L), ortofosfat (1,2 mg/L) dan nitrat (17,2 mg/L). Pengukuran ini dilakukan pada effluent 60 liter/hari, hasil yang diperoleh ini sangat jauh di bawah baku mutu limbah cair berdasarkan Kep-51/MENLH/10/1995 tentang limbah industri. Berdasarkan efektifitas media yang digunakan dengan waktu tinggal 10 hari pada media krekel-ijuk adalah; BOD5 (76,0 %), COD (67,7 %) dan ammonia (72,0 %). Pada media zeolit-arang aktif adalah; BOD5 (73,3 %), COD (79,3 %) dan ammonia (80,9 %). Sementara fitoremediasi oleh tumbuhan air yang paling tinggi dalam penyerapan dan menurunkan bahan pencemar dalam limbah cair tahu adalah Bayombong (*Phragmites* sp), tumbuhan ini mempunyai kemampuan menurunkan bahan pencemar dengan efektivitas sebagai berikut; TSS (76,70 %, 5 hari), BOD5 (83,31%, 10 hari), COD (44,78 %, 5 hari) dan ammonia (88,45 %, 15 hari). ortofosfat (70,33 %, 10 hari), nitrat (68,42 %, 15 hari).

Kata kunci: limbah cair tahu, reaktor biofilter media zeolit-arang aktif, tumbuhan air

Abstract

Liquid waste treatment is very important because it pollutes water bodies. Research has been done to address this problem is the use of media biofilter reactor krekel-fibers, activated charcoal and zeolite-water plants to reduce water pollution. Bean-curd wastewater treatment which designed using the above media may reduce the level of water pollution, the residence time (retention time) 5, 10 and 15 days, wastewater quality parameters measured included: TSS (102.0 mg / L), pH (6.0 mg / L), DO (3.6 mg / L) BOD5 (88.0 mg / L), COD (141.0 mg / L), ammonia (1.4 mg / L), orthophosphate (1.2 mg / L) and nitrate (17.2 mg / L). These measurements were conducted on effluent 60 liters / day, the results obtained so far below quality standard based effluent Kep-51/MENLH/10/1995 concening wastewater treatment industry. Based on the effectiveness of the media used with residence times of 10 days in the media is Krekel-roofed; BOD5 (76.0%), COD (67.7%) and ammonia (72.0%). In the media zeolite-activated charcoal which is; BOD5 (73.3%), COD (79.3%) and ammonia (80.9%). While phytoremediation by aquatic plants, the highest in the absorption and reduce pollutants in wastewater know is *Phragmites* sp, this plant has ability to degrade contaminants effectiveness as follows: TSS (76.70%, 5 days), BOD5 (83.31% , 10 days), COD (44.78%, 5 days) and ammonia (88.45%, 15 days). orthophosphate (70.33%, 10 days), nitrate (68.42%, 15 days).

Keywords: bean-curd wastewater, zeolite-activated charcoal medium biofilter reactor, water plants

Pendahuluan

Industri tahu yang tergolong usaha kecil menengah sangat berkembang pesat saat ini dan tidak akan pernah mati, karena industri ini pada umumnya dimiliki oleh masyarakat. Seiring dengan pertumbuhan penduduk Indonesia mencapai 3 % per tahun, maka permintaan tahu sebagai bahan makanan akan terus meningkat. Harahap *et al* (2010) menyatakan bahwa penyerapan kedelai dari para petani yang digunakan sebagai bahan baku industri tahu sebesar 3 juta ton/tahun. Sementara produksi nasional kedelai hanya mencapai 6 juta ton/tahun, berarti separoh dari produksi kedelai digunakan untuk industri tahu. Kemudian apabila dikaji besarnya volume limbah cair yang dihasilkan dan dibuang ke lingkungan perairan sebesar 135.000.000. ton/tahun. Menurut Dhahiyat (1990), bahwa dalam 1 ton kedelai menghasilkan limbah cair sebesar 30.000- 40.000 liter. Oleh karena itu

perhatian Pemerintah tentang masalah limbah ini sangat serius dan segera dilakukan dan dicari cara pengolahannya agar tidak mencemari lingkungan perairan.

Dengan demikian limbah cair industri tahu yang dibuang ke lingkungan perairan dan tidak mencemari air, dan biota perairan. Penelitian perlu dilakukan untuk mencapai hasil yang maksimum dan merencanakan membuat rancangan Reaktor biofilter yang dikombinasikan secara bersama-sama antara media zeolit, arang aktif serta tumbuhan air, dikenal dengan Fitoremediasi. Menurut Subroto (1996) fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan air untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan dan menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun senyawa anorganik. Tumbuhan air dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair karena

kemampuannya mengassimilasi senyawa organik dan anorganik. Bahan organik dan anorganik yang melayang-layang, tersuspensi dan terlarut dalam air limbah akan diserap melalui akar dan ditranfer keseluruh bagian tanaman untuk kebutuhan hidupnya (Pilon Smits, 2003). Menurut Gray dan Biddlestone (1995), tumbuhan air dapat digunakan untuk penanganan limbah cair, karena kemampuannya menyerap bahan organik yang cukup besar, oleh karena itu upaya pengolahan limbah organik dengan menggunakan tumbuhan air.

Pilon (2003), menyatakan proses fitoremediasi meliputi 5 cara yaitu (1) Rizofilstrasi, merupakan kemampuan akar tanaman untuk menyerap, mengendapkan dan mengakumulasi logam dari air limbah. (2) Fitostailisasi, merupakan proses remediasi oleh tumbuhan air untuk memproduksi senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi kontaminan di daerah rizosfer. (3) Fitovolatilisasi merupakan proses remediasi yang terjadi ketika tumbuhan air menyerap kontaminan dan melepaskannya ke udara lewat daun, atau senyawa kontaminan mengalami degradasi sebelum dilepas melalui daun. (5) Fitodegradasi, merupakan proses metabolisme tumbuhan air dalam jaringan dengan menggunakan enzim *dehalogenase* dan *oksigenase* terhadap kontaminan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari dan mengetahui kemampuan Reaktor yang diberi media zeolit-arang aktif dan tumbuhan air dalam menurunkan tingkat pencemaran perairan yang disebabkan oleh limbah cair industri tahu.

Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Pebruari 2012 sampai Oktober 2012, baik di lapangan maupun di laboratorium. Di lapangan bertempat di sebuah industri tahu yang terletak di desa Cisalada Cikuda RT – 04/ RW – 07, Kecamatan Jatinanor Kabupaten Sumedang. Kemudian untuk menganalisis sampel limbah cair dilakukan di laboratorium kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Unpad, Identifikasi makrozoobentos di lakukan di laboratorium Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FRIK) Unpad dan identifikasi bakteri patogen dilakukan di laboratorium Mikrobiologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Padjadjaran Bandung.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair tahu, zeolit masing-masing tangki air diisi setebal 40 cm, Arang aktif setebal 15 cm pada tangki air, Krikil setebal 60 cm, ijuk setebal 10 cm pada tangki air dan 3 (tiga) jenis tumbuhan air yakni Eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solm), Kiapu (*Pistia stratiotes*) dan Bayongbong (*Phragmites karka*) serta benih ikan Mas (*Cyprinus carpio* L) untuk uji kelulushidupan (uji hayati).

Pembuatan reaktor untuk penelitian ini merupakan satu kesatuan unit mulai dari proses masuk (input) limbah cair tahu sampai pada pembuangan (output), seperti pada Gambar 6.

Pengambilan sampel air dan makrozoobentos dilakukan 2 priode yakni sebelum penelitian dilakukan



Gambar 6. Rancangan Reaktor biofilter yang digunakan

(12 Juni 2012) dan sesudah penelitian dilakukan (30 Oktober 2012). Pengambilan sampel air dilakukan pada stasiun yang telah ditentukan dengan cara vertical pada lapisan permukaan, tengah dan dasar perairan. Alat yang digunakan untuk pengambilan sampel air Kemmerer Water sampler yang berkapasitas 1,20 liter. Parameter kualitas air yang diukur adalah suhu air, pH, oksigen terlarut, karbon dioksida bebas, COD, BOD5, dan lain sebagainya seperti tertera pada Tabel berikut. Sebagian parameter kualitas air dilakukan pengukurannya di lapangan dan sebagiannya lagi dilakukan pengukurannya di laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Unpad yang terletak di kampus Singa Perbangsa Bandung.

Makrozoobentos yang berada di atas dan di dalam sedimen diambil dengan menggunakan Ekman dradge berukuran (pxlxt) = 20 x 20 x 23 cm. Kemudian untuk memisahkan makrozoobentos dari lumpur dan benda-benda lain digunakan saringan bertingkat masing-masing ukuran 0,132, 0,110, dan 0,0386 inci. Setelah mendapatkan sampel makrozoobentos diawetkan dengan menggunakan formalin dengan kadar 4 %, kemudian sampel diperiksa di laboratorium Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Unpad untuk diidentifikasi. Analisis data terhadap proses Reaktor biofilter meliputi :

1. Analisis parameter fisik-kimiawi dilakukan berdasarkan metode standar yang ditetapkan di laboratorium kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Padjadjaran Bandung.
2. Hasil analisis data fisik-kimia akan dibandingkan dengan Baku mutu limbah cair, berdasarkan Kep-51/MENLH/10/1995, tanggal 23 Oktober 1995 (Lampiran 2).
3. Untuk menghitung efektivitas hasil pengolahan Reaktor biofilter terhadap limbah cair tahu baik media Zeolit, Zeolit-Arang aktif dan tumbuhan air digunakan rumus (Saeni, 1989) sebagai berikut :

$$EP = \frac{(C-in - C-out)}{C-in} \times 100 \%$$

EF = Efektivitas pengolahan Reaktor biofilter bermedia

C-in = Kadar parameter limbah cair tahu awal.

C-out = Kadar parameter limbah cair tahu yang keluar setelah pengolahan Reaktor.

4. Untuk mengetahui pengaruh Reaktor bermedia zeolit-arang aktif dan tumbuhan air terhadap penurunan kualitas pencemaran limbah cair tahu,

dilakukan analisis secara deskriptif dengan membuat Tabel, Gambar dan dibahas berdasarkan literatur dan pendapat para ahli. Kemudian biota perairan digunakan rumus-rumus biologi.

Hasil Dan Pembahasan

1. Pengaruh media zeolit-arang aktif a. Terhadap penurunan TSS

Menurut hasil pengukuran penurunan kadar TSS pada tangki air yang berisi media zeolit- arang aktif dengan perlakuan waktu tinggal 5, 10, 15 hari, besarnya kadar TSS menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Berdasarkan pemeriksaan laboratorium dapat dilihat pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	460,00	260,67*	199,33	43,33
2	10	305,00	120,17*	184,83	60,60
3	15	291,00	112,43*	180,57	62,21

Keterangan : WT = waktu tinggal, * = sesuai baku mutu (200-400 mg/L)

Berdasarkan pada Tabel tersebut penurunan TSS pada perlakuan waktu tinggal 5 hari (260,67 mg/L), pada perlakuan 10 hari (120,17 mg/L) dan pada perlakuan 15 hari (112,43 mg/L), hasil ini telah memenuhi Baku mutu (200-400 mg/L). Pada waktu tinggal 5 hari kadar awal (460,00 mg/L) belum memenuhi baku mutu untuk di buang ke Sungai.

b. Terhadap BOD₅

Hasil pengururan Laboratorium menunjukkan penurunan BOD₅ masih di atas ambang batas Baku mutu, seperti terlihat pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	4000,12	2820,43	1179,69	29,49
2	10	3000,67	539,33	2461,34	82,03
3	15	2500,33	236,67	2263,66	90,53

Keterangan : WT = waktu tinggal, Baku mutu (50-150)

Berdasarkan Tabel di atas terlihat penggunaan zeolit-arang aktif (5, 10, 15 hari), belum mampu menurunkan BOD₅ sampai batas yang diperbolehkan oleh Pemerintah. Pada perlakuan 15 hari efektivitas mencapai 90,53 %, penurunan pada nilai akhir (236,67 mg/L), angka ini masih diambang Baku mutu dan belum layak di buang ke Sungai atau ke Perairan umum.

c. Terhadap COD

Hasil analisis laboratorium penurunan COD pada setiap perlakuan dicantumkan pada Tabel. berikut ini.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	6500,33	4000,17	2500,16	38,45
2	10	5500,67	1253,00	4265,67	85,30
3	15	5235,33	1242,67	3992,66	86,26

Keterangan : WT = waktu tinggal, baku mutu (200-300)

Penurunan COD akhir sebesar 1242,67 mg/L dengan efektivitas 86,26 %, pada perlakuan waktu tinggal 15 hari, belum memenuhi ketentuan Baku mutu

Kep-51/MENLH/10/1995, sebesar 200-300 mg/L.

d. Terhadap kadar ammonia

Pada penelitian ini untuk mengetahui kadar ammonia setiap perlakuan waktu tinggal terlihat pada Tabel sebagai berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	32,33	28,97	3,36	10,39
2	10	25,12	14,37	10,80	49,99
3	15	10,11	4,00*	6,11	60,44

Keterangan : WT = waktu tinggal, * = sesuai baku mutu (1-5)

Berdasarkan penurunan kadar ammonia pada perlakuan waktu tinggal 5, 10, 15 hari, berbeda dan yang paling tinggi penurunannya pada perlakuan waktu tinggal 15 hari (4,00 mg/L). Menurut Tabel 9 di atas menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar ammonia secara uji statistik, kadar awal sebesar 32,33 mg/L dapat turun menjadi 28,97 mg/L atau (turun sebesar 3,36 mg/L) dengan efektivitas sebesar 10,39 % pada perlakuan waktu tinggal 5 hari. Selanjutnya pada perlakuan waktu tinggal 10 hari, kadar awal 25,12 mg/L dapat turun menjadi 14,37 mg/L, (turun sebesar 10,80 mg/L) dengan efektivitas sebesar 49,99 %. Pada perlakuan waktu tinggal 15 hari, kadar awal 10,11 mg/L turun menjadi 4,00 mg/L atau mengalami penurunan sebesar 6,11 mg/L dengan kemampuan efektivitas sebesar 60,44 %. Besarnya kemampuan media zeolit-arang aktif dalam menurunkan kadar ammonia yang tertinggi pada perlakuan waktu tinggal 15 hari dengan efektivitas sebesar 60,44 %, melebihi kemampuan efektivitas pada perlakuan 5 dan 10 hari.

e. Terhadap ortofosfat

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, kemampuan zeolit-arang aktif dapat menurunkan kadar ortofosfat pada limbah cair tahu, tercantum pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	3,61	3,20	0,41	3,10
2	10	2,93	1,40*	1,53	52,22
3	15	2,60	1,00*	1,60	62,00

Keterangan : WT = waktu tinggal, * = sesuai baku mutu (1-3)

Berdasarkan Tabel di atas menunjukkan adanya penurunan kadar ortofosfat yang disebabkan oleh media zeolit-arang aktif sangat efektif karena perlakuan waktu tinggal 10, 15 hari dapat menurunkan kadar ortofosfat sesuai baku mutu, sementara perlakuan waktu tinggal 5 hari belum memenuhi syarat baku mutu untuk di buang ke Sungai.

f. Terhadap nitrat

Kadar nitrat yang terdapat pada limbah cair tahu cukup tinggi dan kemampuan zeolit-arang aktif dalam menurunkan kadar nitrat pada perlakuan waktu tinggal 5, 10, 15 hari seperti disajikan pada Tabel.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	13,21	12,00*	1,21	9,16
2	10	8,23	5,11*	3,12	37,91
3	15	6,90	4,00*	2,90	42,03

Keterangan : WT = waktu tinggal,
* = sesuai baku mutu (20-30 mg/L)

Dalam penyajian data hasil analisis laboratorium kemampuan zeolit-arang aktif seperti tertera pada Tabel di atas, memperlihatkan bahwa semua perlakuan waktu tinggal telah memenuhi atau sesuai baku mutu untuk di buang ke sungai. Berdasarkan data pada semua perlakuan waktu tinggal menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar nitrat cukup tinggi, kelihatan bahwa kadar awal 13,21 mg/L setelah perlakuan waktu tinggal 5 hari dapat turun menjadi 12,00 mg/L atau mengalami penurunan sebesar 1,21 mg/L dengan efektivitas sebesar 9,16 %. Selanjutnya pada perlakuan waktu tinggal 10 hari menunjukkan kadar awal 8,23 mg/L turun menjadi 5,11 mg/L, atau mengalami penurunan sebesar 3,12 mg/L, dengan efektivitas sebesar 37,91 %. Pada perlakuan waktu tinggal 15 hari efektivitas sebesar 42,03 %.

2. Pengaruh tumbuhan Eceng gondok

a. Terhadap TSS

Kemampuan Eceng gondok dalam menyerap kadar TSS pada limbah cair tahu dan besar penurunan serta efektivitasnya diuraikan berdasarkan hasil penelitian. Data menunjukkan bahwa semua perlakuan waktu tinggal telah menurunkan kadar TSS dan telah memenuhi ketentuan Baku mutu, besarnya penurunan kadar TSS pada setiap perlakuan waktu tinggal disajikan pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	160,67*	80,67*	80,00	49,79
2	10	120,17*	40,17*	80,00	66,57
3	15	112,43*	35,20*	77,23	68,69

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (200-400 mg/L)

Berdasarkan waktu tinggal selama 5 dan 10 hari, dapat menurunkan kadar TSS yang cukup tinggi, pada perlakuan waktu tinggal tersebut, maka penurunan kadar TSS sama (80 mg/L) seperti terlihat pada Tabel di atas, akan tetapi berbeda pada kadar awal dan akhir serta besaran efektivitas. Terjadinya perbedaan efektivitas disebabkan oleh perbedaan kadar awal dikurangi kadar akhir, dibagi dengan kadar awal, sehingga efektivitas pada perlakuan 5 hari berbeda dengan 10 hari.

b. Terhadap BOD₅

Penggunaan tumbuhan Eceng gondok dalam menurunkan kandungan BOD₅ juga bervariasi sesuai dengan waktu tinggal, 5, 10, 15 hari, kelihatannya semakin lama waktu tinggal maka semakin besar pengaruhnya terhadap penurunan kandungan BOD₅ seperti dicantumkan pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	2820,43	1426,67	1393,76	49,42
2	10	539,33	120,33*	419,00	77,69
3	15	496,67	102,10*	394,57	79,44

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (50-150 mg/L).

Berdasarkan data pada Tabel di atas, memperlihatkan bahwa perlakuan waktu tinggal 10 dan 15 hari penurunan BOD₅ yang telah sesuai dengan baku mutu,

sementara perlakuan waktu tinggal 5 hari masih perlu diperpanjang waktunya. Berdasarkan kemampuan zeolit-arang aktif dengan Eceng gondok dalam menurunkan kandungan BOD₅ terlihat bahwa pada perlakuan waktu tinggal 5 hari kadar awal nilai BOD₅ 2820,43 mg/L turun menjadi 1426,67 mg/L atau (turun sebesar 1393,76 mg/L) dengan efektivitas sebesar 49,42 %. Selanjutnya pada perlakuan waktu tinggal 10 hari menunjukkan kadar awal 539,33 mg/L menjadi 120,33 mg/L, (turun sebesar 419,00 mg/L) dengan efektivitas sebesar 77,69 %. Pada perlakuan waktu tinggal 15 hari dimana kadar awal 496,67 mg/L menjadi 102,10 mg/L atau mengalami (penurunan sebesar 394,57 mg/L) dengan kemampuan efektivitas sebesar 79,44 %.

c. Terhadap COD

Hasil penelitian berikut ini menunjukkan kemampuan zeolit-arang aktif dan Eceng gondok dalam menurunkan kandungan COD pada perlakuan waktu tinggal berbeda. Hasil utama adalah bahwa perlakuan waktu tinggal 15 hari dapat menurunkan kandungan COD sesuai dengan baku mutu. Sementara pada perlakuan waktu 5 dan 10 hari, penurunannya masih di atas baku mutu. Tingginya bahan organik dan anorganik pada limbah cair tahu menyebabkan terjadinya dekomposisi, sehingga oksigen yang terlarut dalam air limbah dipakai dalam proses reduksi dan oksidasi oleh mikroba. Akibatnya kadar oksigen yang ada akan menjadi kecil dan bahkan dapat menjadi nol dan menyebabkan limbah cair tersebut menjadi anoksit dan dapat mematikan ikan serta biota perairan lainnya (Koswara, 1990). Untuk mengetahui lebih jelas data hasil penelitian dicantumkan pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	4000,17	2573,33	1426,84	35,67
2	10	1253,00	300,33	952,67	76,03
3	15	1242,67	271,67*	971,00	78,14

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (200-300 mg/L)

Berdasarkan hasil analisis laboratorium kemampuan zeolit-arang aktif dan Eceng gondok dalam menurunkan kandungan COD pada perlakuan 5 hari, kadar awal 4000,17 mg/L turun menjadi 2573,33 mg/L, pada perlakuan 10 hari kadar awal 1253,00 turun menjadi 300 mg/L, penurunan ini sangat significant dan pada perlakuan 15 hari kadar awal 1242,67 turun menjadi 271,67, penurunannya tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan 10 hari, tetapi penurunan ini telah sesuai baku mutu. Berdasarkan data hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan kandungan COD secara cukup tinggi terutama pada perlakuan antara 5 hari ke 10 hari. Apabila diurutkan besarnya efektivitas penurunan kandungan COD dan perbedaan perlakuan waktu tinggal adalah 15 hari (78,14 %) > 10 hari (76,03 %) > 5 hari (35,67 %).

d. Terhadap ammonia

Pengaruh media zeolit-arang aktif dengan Eceng gondok terhadap penurunan ammonia pada limbah cair tahu sangat besar, berdasarkan data hasil analisis

laboratorium, kemampuan zeolit-arang aktif dengan Eceng gondok dapat menurunkan kadar ammonia dengan efektivitas antara 45,36 % - 83,33 % seperti disajikan pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	28,97	15,83	13,40	45,36
2	10	14,37	3,50*	10,87	75,64
3	15	12,00*	2,00*	10,00	83,33

Keterangan : WT = waktu tinggal, * = sesuai baku mutu (1-5 mg/L)

Berdasarkan tabel di atas memperlihatkan kemampuannya berbeda-beda sesuai dengan perlakuan waktu tinggal. Kelihatannya semakin lama waktu tinggal, semakin besar kemampuan untuk menyerap kadar ammonia, pada perlakuan waktu tinggal 15 hari efektivitas penyerapannya yang terbesar yaitu 83,33 %. Hal ini diduga disebabkan karena kadar awal 12,00 mg/L dan dapat turun menjadi 2,00 mg/L, sehingga efektivitasnya besar mencapai 83,33 %.

Berdasarkan data yang tercantum pada Tabel di atas dapat dijelaskan bahwa terjadi penurunan kadar ammonia secara significant, terutama pada perlakuan waktu tinggal antara 5 hari dan 10 hari. Kadar awal ammonia 28,97 mg/L setelah waktu tinggal 5 hari menjadi 15,83 mg/L atau (turun sebesar 13,14 mg/L) dengan efektivitas sebesar 45,36 %. Selanjutnya pada perlakuan waktu tinggal 10 hari menunjukkan kadar awal 14,37 mg/L turun menjadi 3,50 mg/L, (turun sebesar 10,87 mg/L) dengan besaran efektivitas sebesar 75,64 %. Pada perlakuan waktu tinggal 15 hari dimana kadar awal 12,00 mg/L menjadi 2,00 mg/L atau mengalami penurunan sebesar 10,00 mg/L dengan kemampuan efektivitas sebesar 83,33 %. Pada perlakuan waktu tinggal 15 hari media zeolit-arang aktif dan Eceng gondok mampu menurunkan kadar ammonia tertinggi dengan efektivitas 83,33 % dibandingkan dengan perlakuan waktu tinggal 5 dan 10 hari.

e. Terhadap ortofosfat

Fosfat merupakan salah satu unsur utama sebagai unsur hara pada tumbuhan, fosfat yang larut dalam air yang langsung dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan Eceng gondok adalah dalam bentuk ortofosfat. Apabila kadar nitrat dan fosfat terlalu tinggi pada perairan dapat menimbulkan blooming mikro algae dan dapat mengakibatkan pencemaran, oleh sebab itu kadar ortofosfat dalam limbah cair tahu harus diturunkan dengan menggunakan zeolit-arang aktif dan tumbuhan Eceng gondok. Kadar ortofosfat yang baik berkisar antara 1-3 mg/L, sementara pada penelitian ini kadar ortofosfat sebesar 3,20 mg/L dan harus diturunkan dengan menggunakan media zeolit-arang aktif dan Eceng gondok, hasilnya dapat dilihat pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	3,20	1,33*	1,87	58,44
2	10	2,60*	1,00*	1,60	61,54
3	15	1,90*	0,70*	1,20	63,16

Keterangan : WT = waktu tinggal, * = sesuai baku mutu (1-3 mg/L)

Berdasarkan Tabel tersebut penurunan ortofosfat pada perlakuan waktu tinggal 5 hari (1,33 mg/L), angka ini masih dalam ambang batas baku mutu. Kemudian perlakuan waktu tinggal 10 hari (1,00 mg/L) dan perlakuan 15 hari (0,70 mg/L) telah memenuhi Baku mutu (1-3 mg/L) dan telah sesuai persyaratan untuk dibuang ke lingkungan.

f. Terhadap nitrat

Penggunaan tumbuhan Eceng gondok untuk menurunkan kadar nitrat pada limbah cair tahu terlihat efektif pada penelitian ini memperlihatkan besarnya pengaruh zeolit-arang aktif dengan Eceng gondok terhadap penurunan kadar nitrat berkisar antara 3,49-3,64 mg/L. Selanjutnya Eceng gondok memerlukan zat hara seperti nitrat dalam pertumbuhannya. Besarnya penurunan nitrat pada perlakuan waktu tinggal 5, 10, 15 hari, seperti tertera pada Tabel di bawah ini.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	12,00*	8,36*	3,64	30,33
2	10	7,11*	3,62*	3,49	49,09
3	15	6,77*	3,28*	3,49	51,56

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (20-30 mg/L)

Berdasarkan hasil analisis laboratorium perlakuan 5 hari (8,36 mg/L), 10 hari (3,62 mg/L) dan perlakuan 15 hari (3,28 mg/L) telah memenuhi Baku mutu (20-30 mg/L). Tabel di atas menunjukkan terjadi penurunan kadar nitrat cukup besar, pada kadar awal 12,00 mg/L setelah perlakuan 5 hari turun menjadi 8,36 mg/L atau (turun sebesar 3,64 mg/L) dengan efektivitas sebesar 30,33 %. Selanjutnya pada perlakuan waktu tinggal 10 hari menunjukkan kadar awal 7,11 mg/L turun menjadi 3,62 mg/L, (turun sebesar 3,49 mg/L) dengan besaran efektivitas sebesar 49,09%. Pada perlakuan 15 hari kadar awal 6,77 mg/L turun menjadi 3,28 mg/L atau mengalami penurunan sebesar 3,49 mg/L dengan kemampuan efektivitas sebesar 51,56 %. Pada berbagai perlakuan waktu tinggal efektivitas yang tertinggi adalah perlakuan waktu tinggal 15 hari yaitu sebesar 51,56 %.

3. Pengaruh tumbuhan Kiapu

a. Terhadap TSS

Berdasarkan hasil analisis laboratorium terhadap penurunan kadar TSS pada limbah cair tahu dengan menggunakan media zeolit-arang aktif dan tumbuhan air Kiapu, memperlihatkan bahwa pada semua perlakuan waktu tinggal 5, 10, 15 hari dapat menurunkan kadar TSS sampai pada Baku mutu yang diperbolehkan limbah cair tersebut dibuang ke sungai. Hasil analisis rata-rata pengaruh zeolit-arang aktif dan Kiapu terhadap TSS pada perlakuan waktu tinggal 5, 10, 15 hari, seperti terlihat pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	160,67*	81,50*	79,17	49,27
2	10	120,17*	39,17*	81,00	67,40
3	15	100,43*	29,00*	71,43	71,12

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (200-400 mg/L)

Berdasarkan data pada Tabel di atas penurunan kadar TSS pada perlakuan waktu tinggal 15 hari, efektivitasnya tertinggi sebesar 71,12 %. Pada Tabel terlihat bahwa kadar awal pada perlakuan waktu tinggal 5 hari adalah 160,67 mg/L dan turun menjadi 81,50 mg/L penurunan sebesar 79,17 mg/L dan efektivitas sebesar 49,27 %. Kemudian pada perlakuan waktu tinggal 10 hari, kadar awal TSS 120,17 mg/L turun menjadi 39,17 mg/L, penurunan sebesar 81,00 mg/L dengan efektivitas 67,40 %. Selanjutnya pada perlakuan 15 hari kadar awal 100,43 mg/L turun menjadi 29,00 mg/L, penurunan sebesar 71,43 mg/L dengan efektivitas sebesar 71,12 %. Berdasarkan nilai efektivitas memperlihatkan perlakuan 15 hari efektivitasnya lebih tinggi dari perlakuan 5 dan 10 hari.

b. Terhadap BOD₅

Menurut data hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa penurunan nilai BOD₅ dengan menggunakan tumbuhan Kiapu bervariasi sesuai dengan perlakuan waktu tinggal 5, 10 dan 15 hari. Penurunan yang tertinggi terdapat pada perlakuan 15 hari seperti terlihat pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	2820,43	1426,67	1393,76	49,42
2	10	539,33	109,33*	430,00	79,73
3	15	446,67	90,67*	356,00	79,97

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (50-150 mg/L)

Berdasarkan hasil analisis laboratorium kandungan BOD₅ seperti disajikan pada Tabel di atas menunjukkan bahwa pada perlakuan 5 hari, Kiapu hanya mampu menurunkan BOD₅ sebesar 1426,67 mg/L, penurunan ini masih jauh di atas Baku mutu (50-150 mg/L). Selanjutnya pada perlakuan 10 hari kandungan BOD₅ turun menjadi 109,33 mg/L dan pada perlakuan 15 hari turun menjadi 90,67 mg/L, nilai ini telah berada pada kisaran Baku mutu (50-150 mg/L), hasil pengolahan ini telah memenuhi syarat untuk di buang ke Perairan umum.

c. Terhadap COD

Hasil penelitian menggunakan tumbuhan Kiapu dapat menurunkan nilai COD pada perlakuan 5, 10 dan 15 hari. Penurunan yang tertinggi terjadi pada perlakuan 15 hari, Hasil analisis rata-rata Kiapu penurunan COD, terlihat pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	4000,17	2554,33	1445,84	36,14
2	10	1253,00	284,67*	968,33	77,28
3	15	1242,67*	276,67*	966,00	77,73

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (200-300 mg/L)

Berdasarkan data pada Tabel di atas menunjukkan bahwa pada perlakuan 5 hari, penurunan COD menunjukkan belum memenuhi Baku mutu, sementara perlakuan 10 dan 15 hari, kandungan COD telah berada pada kisaran Baku mutu, seperti ditandai bintang pada angka-angka tersebut. Kemudian terlihat terjadi penurunan kandungan COD secara cukup besar, kandungan awal 4000,17 mg/L setelah perlakuan 5 hari

turun menjadi 2554,33 mg/L atau (turun sebesar 1445,84 mg/L) dengan efektivitas sebesar 36,14 %. Selanjutnya pada perlakuan 10 hari menunjukkan kandungan awal 1253,00 mg/L turun menjadi 284,67 mg/L, (turun sebesar 968,33 mg/L) dengan besaran efektivitas 77,28 %. Pada perlakuan waktu tinggal 15 hari dimana kandungan awal 1242,67 mg/L turun menjadi 276,67 mg/L atau mengalami (penurunan sebesar 966,00 mg/L) dengan kemampuan efektivitas sebesar 77,73 %. Penurunan terbaik COD dengan Kiapu pada perlakuan 15 hari dengan efektivitas sebesar 77,73%. Penurunan ini juga disebabkan oleh kemampuan optimum dari Kiapu dalam menyerap bahan-bahan organik dan anorganik pada limbah cair, walaupun terjadi penyerapan tidak sebesar perlakuan waktu tinggal 15 hari. Kadar yang diperbolehkan pemerintah sebesar 200-300 mg/L.

d. Terhadap ammonia

Penggunaan Kiapu berpengaruh dalam menurunkan kadar ammonia pada berbagai perlakuan waktu tinggal, efektivitas penurunan kadar ammonia yang tertinggi sampai yang terendah berturut-turut perlakuan 15 hari (76,27 mg/L), perlakuan 10 hari (75,16 mg/L) dan perlakuan 5 hari (46,74 mg/L). Kadar ammonia yang tinggi terdapat pada perairan akan menimbulkan masalah bagi berbagai kegiatan. Kualitas air bagi keperluan budidaya ikan sangat mempengaruhi pertumbuhan ikan, apabila kadar ammonia (NH₃) melebihi Baku mutu (3 mg/L) akan menimbulkan kematian bagi ikan terutama ikan mas (*Cyprinus carpio* L). Kemampuan Kiapu dalam menurunkan kadar ammonia seperti terlihat pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	28,97	15,43	13,54	46,74
2	10	14,37*	3,57*	10,80	75,16
3	15	14,33*	3,40*	10,93	76,27

Keterangan : WT = waktu tinggal, * = sesuai baku mutu (1-5 mg/L)

Menurut data pada Tabel di atas bahwa pada perlakuan 5 hari, penurunan kadar ammonia belum memenuhi ketentuan Baku mutu dan belum layak hasilnya dibuang ke Sungai, sementara perlakuan 10 hari dan 15 hari telah memenuhi ketentuan Pemerintah pada kisaran Baku mutu (1-5 mg/L). Selanjutnya kalau diperhatikan perbedaan perlakuan antara 10 hari dengan 15 hari, perbedaannya sebesar 0,13 mg/L berarti perlakuan optimum penggunaan zeolit-arang aktif-Kiapu adalah perlakuan 10 hari, karena penurunan kadar ammonia sangat kecil jika dibandingkan dengan waktu tinggal yang dibutuhkan bertambah 5 hari. Media zeolit dan arang aktif sangat berpengaruh dalam menurunkan kadar ammonia pada limbah cair tahu, karena media ini mempunyai sifat menyerap, menukar ion karena zeolit merupakan senyawa aluminosilikat dan terdiri dari kation-kation alkali dan alkali tanah, mempunyai pori-pori dan berfungsi sebagai adsorban pada limbah cair tahu sehingga mempunyai kemampuan yang tidak diragukan lagi dalam menyerap bahan pencemar pada limbah cair tersebut. Kemudian Kiapu merupakan tumbuhan yang hidupnya relatif kuat dan tahan terhadap limbah cair tahu, sementara akar-

akar Kiapu yang bergantung dan menyebar pada lapisan limbah cair tahu, sangat mampu dan potensial untuk menyerap dan menurunkan kadar ammonia. Kiapu merupakan tumbuhan yang membutuhkan zat hara yang diperolehnya dari limbah cair tahu dan digunakan dalam proses pertumbuhan tanaman ini.

e. Terhadap ortofosfat

Berdasarkan hasil pengamatan menunjukkan bahwa penurunan kadar ortofosfat pada limbah cair tahu berturut-turut dari yang besar ke yang kecil adalah sebagai berikut ; perlakuan 15 hari dengan efektivitas 73,42 %, diikuti 10 hari dengan efektivitas 70,82 % dan 5 hari dengan efektivitas 62,50 %. Menurut data hasil analisis laboratorium menunjukkan penurunan pada perlakuan waktu tinggal 10 dan 15 hari telah memenuhi Baku mutu yaitu pada kisaran (1-3 mg/L), dengan demikian perlakuan 15 hari lebih tinggi penurunannya dan efektivitas dibandingkan dengan perlakuan waktu tinggal 10 dan 5 hari, data penurunan kadar ortofosfat dapat dilihat pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	3,20	1,20*	2,00	62,50
2	10	2,40*	0,70*	1,70	70,83
3	15	1,90*	0,50*	1,40	73,42

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (1-3mg/L)

Menurut Tabel sebagaimana tercantum di atas menunjukkan bahwa penurunan kadar ortofosfat pada perlakuan waktu tinggal 15 hari (1,40 mg/L), 10 hari (1,70 mg/L) dan 5 hari (2,00 mg/L). Penurunan perlakuan 15 hari lebih tinggi efektivitas,

f. Terhadap nitrat

Unsur hara nitrat merupakan zat yang penting keberadaannya di perairan, karena merupakan zat organik penyubur bagi tanaman, namun apabila kadar nitrat melebihi kadar optimum maka dapat menimbulkan pencemaran. Limbah cair tahu mengandung kadar nitrat yang cukup tinggi, salah satu usaha yang dilakukan untuk menurunkan kadar nitrat yang terdapat pada limbah cair tahu adalah melakukan pengolahan limbah secara fisik-kimiawi dan biologi secara bersama-sama. Pengolahan limbah cair tahu dengan membuat reaktor biofilter menggunakan tumbuhan Kiapu, dapat menurunkan kadar nitrat. Pada penelitian ini memperlihatkan penurunan kadar nitrat pada setiap perlakuan waktu tinggal adalah ; pada perlakuan 5 hari (8,10 mg/L), 10 hari (3,20 mg/L) dan 15 hari (2,20 mg/L), seperti tercantum pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	12,00*	8,10*	3,90	32,50
2	10	7,80*	3,20*	4,60	58,97
3	15	6,20*	2,20*	4,00	64,52

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (20-30 mg/L)

Selanjutnya apabila penurunan kadar nitrat pada setiap perlakuan dibandingkan dengan Baku mutu maka diperoleh kesimpulan ; bahwa pada semua perlakuan sudah memenuhi Baku mutu (20-30 mg/L).

Berdasarkan Tabel di atas menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar nitrat secara cukup tinggi, kadar awal 12,00 mg/L setelah dilakukan perlakuan 5 hari turun menjadi 8,10 mg/L atau (turun sebesar 3,90 mg/L) dengan efektivitas sebesar 32,50 %. Pada perlakuan 10 hari menunjukkan kadar awal 7,80 mg/L turun menjadi 3,20 mg/L, (turun sebesar 4,60 mg/L) dengan besaran efektivitas sebesar 58,97 %. Pada perlakuan 15 hari dimana kadar awal 6,20 mg/L turun menjadi 2,20 mg/L atau mengalami penurunan sebesar 4,00 mg/L dengan kemampuan efektivitas sebesar 64,52 %. Pengaruh media zeolit-arang aktif dan Kiapu memperlihatkan bahwa perlakuan waktu tinggal 15 hari efektivitas 64,52 % melebihi kemampuan perlakuan waktu tinggal 10 dan 5 hari, berdasarkan fakta ini penyerapan zeolit-arang aktif yang maksimal terjadi pada 15 hari.

4. Pengaruh Rumput Bayongbong

a. Terhadap TSS

Berdasarkan analisis laboratorium Tabel berikut terlihat penurunan kadar TSS pada perlakuan 5 hari (50,33 mg/L), 10 hari (28,36 mg/L) dan 15 hari (20,00 mg/L), penurunan kadar TSS akibat perlakuan Bayongbong sangat efektif. Penurunan yang terjadi telah sesuai dengan isyarat Baku mutu untuk industri Hasil analisis rata-rata pengaruh Bayongbong terhadap TSS pada perlakuan waktu tinggal 5,10, 15 hari terlihat pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	160,67*	50,33*	110,34	68,67
2	10	120,17*	28,36*	91,81	76,40
3	15	100,43*	20,00*	80,43	80,08

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (200-400 mg/L)

Berdasarkan analisis laboratorium Tabel di atas penurunan kadar TSS menunjukkan perlakuan 5 hari (50,33 mg/L), 10 hari (28,36 mg/L) dan 15 hari (20,00 mg/L), penurunan kadar TSS akibat perlakuan Bayongbong sangat efektif. Penurunan yang terjadi telah sesuai dengan isyarat Baku mutu untuk industri. Parameter TSS yang terdapat pada limbah cair tahu terdiri dari bahan organik, protein, karbohidrat, lemak dan lainnya, merupakan padatan organik terlarut dan tersuspensi yang menjadi partikel TSS. Apabila kadar TSS tinggi dapat menghambat penetrasi cahaya matahari masuk kedalam perairan, sehingga proses fotosintesis dalam perairan akan terganggu. Untuk mengatasi masalah TSS pada limbah cair tahu yang kadarnya sangat tinggi dilakukan pengolahan dengan menggunakan rumput Bayongbong dengan perlakuan waktu tinggal 5, 10 dan 15 hari. Berdasarkan analisis laboratorium Tabel di atas penurunan kadar TSS menunjukkan bahwa perlakuan waktu tinggal 5 hari (50,33 mg/L), 10 hari (28,36 mg/L) dan 15 hari (20,00 mg/L), penurunan kadar TSS akibat perlakuan zeolit-arang aktif Bayongbong sangat efektif. Penurunan yang terjadi telah sesuai dengan isyarat baku mutu untuk industri dan perikanan

b. Terhadap BOD₅

Penggunaan tumbuhan air Bayongbong dalam menurunkan BOD₅ sangat tepat, karena kemampuan

tumbuhan ini dapat menyerap padatan organik-anorganik tersuspensi melalui perakaran yang mengambang pada lapisan perairan dan juga pada dasar perairan. Sehingga kemampuannya dalam menurunkan BOD₅ lebih baik dari pada jenis tumbuhan lainnya. Penurunan BOD₅ dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	2820,43	610,30	2210,13	78,36
2	10	539,33	90,00*	449,33	83,31
3	15	456,67	74,16*	382,51	83,76

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (50-150 mg/L)

Berdasarkan Tabel di atas memperlihatkan adanya penurunan, pada perlakuan 5 hari sebesar (610,30 mg/L) masih di atas ambang Baku mutu, sementara perlakuan 10 dan 15 hari (90,00 mg/L dan 74,16 mg/L) telah berada di bawah ambang Baku mutu (50-150 mg/L).

c. Terhadap COD

Penggunaan Rumput Bayongbong dalam menangani limbah cair tahu sangat efektif dalam menurunkan kandungan COD, dengan perlakuan waktu tinggal 5, 10, dan 15 hari, seperti terlihat pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	4000,17	2000,00	2000,17	50,00
2	10	1253,00	209,57*	1043,43	83,27
3	15	1242,67	201,67*	1041,00	83,77

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (200-300 mg/L)

Pada Tabel di atas terlihat bahwa penurunan COD pada perlakuan 5 hari 2000,00 mg/L masih di atas Baku mutu dan kualitas limbah cair pada perlakuan tersebut belum diperbolehkan di buang ke Sungai sedangkan pada perlakuan 10 dan 15 hari (209,57 mg/L dan 201,67 mg/L) telah memenuhi Baku mutu yang ditetapkan Pemerintah yaitu pada kisaran (200-300 mg/L), dan sudah layak dibuang ke sungai/ perairan umum.

d. Terhadap ammonia

Pengaruh tumbuhan Bayongbong terhadap penurunan kadar ammonia pada pengolahan limbah cair tahu, menunjukkan hasil yang sangat baik dan pada perlakuan baik 5, 10 dan 15 hari penurunan kadar ammonia telah sesuai dengan Baku mutu. Penurunan kadar ammonia pada perlakuan 5 hari 7,12 mg/L, pada perlakuan 10 hari 2,22 mg/L dan perlakuan 15 hari 2,05 mg/L. Berdasarkan kemampuan Bayongbong dalam menurunkan kadar ammonia, pada perlakuan 10 dan 15 hari telah memenuhi Baku mutu (1-5 mg/L), kecuali perlakuan waktu tinggal 5 hari, tercantum pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	28,97	7,12	21,85	75,42
2	10	14,37	2,22*	12,15	84,55
3	15	13,00*	1,75*	11,25	86,54

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (1-5 mg/L)

Pada Tabel di atas menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar ammonia secara baik, kadar awal sebesar 28,97 mg/L setelah perlakuan 5 hari turun menjadi 7,12 mg/L atau (turun sebesar 21,85 mg/L) dengan efektivitas sebesar 75,42 %. Selanjutnya pada perlakuan 10 hari menunjukkan kadar awal 14,37 mg/L turun menjadi 2,22 mg/L, (turun sebesar 12,15 mg/L) dengan besaran efektivitas sebesar 84,55%. Pada perlakuan waktu tinggal 15 hari dimana kadar awal 13,00 mg/L turun menjadi 1,75 mg/L atau mengalami penurunan sebesar 11,25 mg/L dengan kemampuan efektivitas sebesar 86,54 %. Persentase efektivitas penurunan kadar ammonia dengan tumbuhan Bayongbong pada semua perlakuan waktu tinggal cukup tinggi. Sementara perlakuan tertinggi pada 15 hari dengan efektivitas 86,54 %.

e. Terhadap ortofosfat

Berdasarkan hasil analisis laboratorium terhadap kadar ortofosfat yang terdapat pada limbah cair tahu, dengan penggunaan rumput Bayongbong memperlihatkan pada semua perlakuan (5, 10 dan 15 hari) dapat menurunkan kadar ortofosfat sesuai ketentuan Pemerintah tentang Baku mutu, limbah cair industri tahu. Besarnya efektivitas penurunan kadar ortofosfat tercantum pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	3,20	0,75*	2,45	76,56
2	10	2,40*	0,40*	2,00	83,33
3	15	1,90*	0,30*	1,60	84,21

Keterangan : WT = waktu tinggal, * = sesuai baku mutu (1-3 mg/L)

Berdasarkan Tabel di atas menunjukkan menurunnya kadar ortofosfat pada berbagai perlakuan waktu tinggal, penurunan tersebut yang terbesar terjadi pada perlakuan 15 hari (0,30 mg/L), perlakuan 10 hari (0,40 mg/L) dan perlakuan 5 hari (0,75 mg/L). Kemudian tolok ukur baku mutu mengisyaratkan kisaran yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah (1-3 mg/L), berarti pada semua perlakuan sudah memenuhi tolok ukur tersebut.

Penurunan kadar ortofosfat secara drastis, kadar awal ortofosfat 3,20 mg/L setelah waktu tinggal 5 hari, turun menjadi 0,75 mg/L atau (turun sebesar 2,45 mg/L) dengan efektivitas sebesar 76,56%. Pada perlakuan waktu tinggal 10 hari menunjukkan kadar awal 2,40 mg/L turun menjadi 0,70 mg/L, (turun sebesar 1,70 mg/L) dengan besaran efektivitas sebesar 83,33 %. Pada perlakuan waktu tinggal 15 hari dimana kadar awal 1,90 mg/L turun menjadi 0,30 mg/L atau mengalami (penurunan sebesar 1,60 mg/L) dengan kemampuan efektivitas sebesar 84,21 %.

Penurunan tersebut diduga disebabkan oleh adanya seludang udara pada akar berfungsi sebagai alat pertukaran oksigen sehingga proses stabilisasi dari pemecahan bahan organik oleh bakteri aerob sehingga menurunkan kadar ortofosfat mencapai efektivitas 84,21%. Selanjutnya gulma *Phragmites* karka merupakan gulma air emergent yang banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair karena kemampuannya menurunkan kadar pencemar yang dikandung oleh limbah cair tersebut.

f. Terhadap nitrat

Penggunaan rumput Bayongbong terhadap penurunan kadar nitrat pada limbah cair tahu, memperlihatkan penurunan kadar yang cukup baik pada perlakuan waktu tinggal 5, 10, 15 hari. Kadar nitrat pada limbah cair tahu sangat rendah yaitu sebesar 12 mg/L, sementara Baku mutu menentukan kadar maksimal yang diperbolehkan di buang ke lingkungan sebesar 30 mg/L, tanpa dilakukan pengolahan telah memenuhi Baku mutu. Kemudian data yang diperoleh dicantumkan pada Tabel berikut.

No	WT (hari)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Penurunan (mg/L)	Efektivitas (%)
1	5	12,00*	5,57*	6,43	53,58
2	10	7,80*	2,00*	5,80	74,36
3	15	6,20*	1,10*	5,10	82,26

Keterangan : WT = waktu tinggal,

* = sesuai baku mutu (20-30 mg/L)

Hasil analisis laboratorium pada Tabel di atas memperlihatkan bahwa penurunan kadar nitrat yang terbaik adalah pada perlakuan waktu tinggal 15 hari (1,10 mg/L) dan diikuti oleh perlakuan 10 hari (2,00 mg/L), sementara perlakuan 5 hari (5,57 mg/L), penurunan tersebut sudah memenuhi baku mutu untuk keperluan industri dan perikanan (20-30 mg/L). Nitrat merupakan zat hara yang dibutuhkan tanaman dalam pertumbuhannya, dan bagi organisme perairan seperti plankton sangat membutuhkan zat hara seperti nitrat bagi kelangsungan hidupnya. Akan tetapi apabila kadar nitrat berlebihan di perairan akibat pemupukan, limbah industri dan masuk ke perairan akan menimbulkan masalah bagi lingkungan perairan tersebut.

Berdasarkan Tabel tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar nitrat secara baik, pada awalnya kadar nitrat 12,00 mg/L setelah perlakuan 5 hari, turun menjadi 5,57 mg/L atau (turun sebesar 6,43 mg/L) dengan efektivitas sebesar 53,58%. Pada perlakuan 10 hari menunjukkan kadar awal 7,80 mg/L turun menjadi 2,00 mg/L, (turun sebesar 5,80 mg/L) dengan besaran efektivitas sebesar 74,36%.

4.3. Bakteri pengurai limbah cair tahu

Jenis-jenis bakteri yang terdapat pada limbah cair tahu menurut Archer dan Kirsop (1991), dapat digolongkan dalam 4 kelompok yakni; (1) Bakteri Hidrolitik, berfungsi memecah molekul zat organik kompleks (Polisakarida, lemak), (2) Bakteri Acidogenik Fermentatif (Glukosa, asam amino, asam lemak), (3) Bakteri Acetogenik (Asetat, CO₂, H₂) dan (4) Bakteri Methanogenik (Methane).

Kelompok bakteri Hidrolitik dapat memecah molekul organik kompleks (protein, cellulose, lignin dan lipids), menjadi molekul monomer yang terlarut seperti asam amino, glukosa, asam lemak dan gliserol. Hidrolisis molekul kompleks dikatalisasi oleh enzim ekstra seluler seperti enzim selulose, protease dan lipase, (Said dan Erlambang, 1999). Selanjutnya kelompok bakteri Acidogenik fermentatif berfungsi untuk merubah gula, asam amino, asam lemak menjadi asam acetat, propioni, formic, lactic, butirik, alkohol dan keton. Kemudian kelompok bakteri Acetogenik

dapat merubah asam propionat, asam butirat dan alkohol menjadi asetat, hydrogen dan karbon dioksida yang digunakan oleh bakteri untuk membentuk metanogen. Kelompok bakteri Methanogenik (Metanogen) berfungsi merubah hydrogen dan karbon dioksida menjadi metan (bakteri metanogen hydrogenotropik), kemudian bakteri metanogen asetotropik dapat merombak asam acetat menjadi metan dan CO₂. Menurut Said *et al* (1999) bahwa terdapat interaksi sinergis antara kelompok bakteri yang berperan dalam penguraian limbah, sebagian besar bakteri aerobik dan fakultatif seperti *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus* dan *Streptococcus*). Selanjutnya bakteri *Syntobacter walinii* dan *Syntrophomas walfei* dapat merubah asam lemak dan alkohol menjadi Asetat, Hidrogen dan Karbon dioksida (Gabrial, 1994).

Jenis-jenis bakteri yang termasuk genus *Methanobacterium* adalah *M. formicicum*, *M. bryanti*, *M. termautotrophicum*, *M. ruminantium*, Genus *Methanobrevibacter* adalah *M. arboriphilus*, *M. smithii*, *M. vonnielli*. Genus *Methanococcus* adalah *M. voltae*. Genus *Methanomicrobium* adalah *M. mobile*, Genus *Methanogenium* adalah *M. cariaci*, *M. morisnigri*, *M. hungatei*, Genus *Methanospillum* adalah *M. barkeri* dan genus *Methanosarcina* adalah *M. mazei*, (Lay dan Hastomo, 1994).

Aliran limbah cair keluar (outlet) reaktor biofilter

Pengaturan aliran limbah cair ke luar dari reaktor biofilter sangat penting dilakukan, karena dapat mempengaruhi lamanya limbah cair kontak (retention time) dengan media yang digunakan dalam Reaktor biofilter. Semakin kecil debit limbah cair yang keluar dari Reaktor biofilter berarti semakin lama limbah cair tersebut kontak dengan media yang digunakan dan menghasilkan kualitas limbah cair yang lebih baik. Sebaliknya semakin besar air limbah yang keluar dari Reaktor biofilter maka kontak antara air limbah dengan media yang digunakan semakin kecil, akibatnya kualitas limbah cair yang keluar dari Reaktor biofilter semakin menurun.

Pengaturan pengeluaran limbah cair dari Reaktor biofilter menunjukkan kemampuan Reaktor biofilter yang digunakan, baik besarnya media peralatan, jumlah (ketebalan) media penyaring dan berat basah tumbuhan air yang digunakan. Pada penelitian ini dilakukan pengeluaran limbah cair dari Reaktor yakni sebesar 60 liter/hari, dengan perkiraan bahwa dalam jangka waktu 10 - 15 hari (debit 60 liter/hari) akan habis. (Volume limbah cair dalam media sebesar 700 liter).

Debit limbah cair pada saluran keluar (outlet) 60 liter/hari

Berdasarkan hasil pengamatan pada perlakuan ini menunjukkan bahwa parameter fisik-kimiawi limbah cair tahu yang diukur berada pada kisaran Baku mutu Lingkungan Hidup berdasarkan Kep-51/MENLH/10/1995, yang diperbolehkan di buang ke lingkungan perairan. Hasil pengukuran parameter kualitas limbah limbah cair disajikan pada Tabel 9 berikut ini ;

Tabel 9. Hasil pengukuran rata-rata parameter limbah cair reactor biofilter pada outlet dengan debit 60 liter/hari

No.	Parameter	satuan	15 hari	30 hari	60 hari	B.K
1	Temp.air	°C	30,00	30,00	30,00	30-40
2	Temp udara	°C	30,00	29,00	29,00	Normal
3	TSS	mg/L	100,00	102,00	101,00	200-400
4	pH	-	6,50	6,50	6,60	6-9
5	DO	mg/L	5,70	5,60	5,80	2-6
6	BOD ₅	mg/L	85,00	88,00	98,00	50-150
7	COD	mg/L	130,00	129,00	130,00	10-300
8	Ammonia (NH ₃ -N)	mg/L	1,20	1,10	1,00	1-5
9	Ortofosfat (PO ₄ ³⁻)	mg/L	1,00	1,10	1,00	1-3
10	Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	17,00	17,20	17,00	20-30

Berdasarkan Tabel 9 di atas, parameter kualitas limbah cair pH, DO, BOD₅, COD, Ammonia, Ortofosfat dan Nitrat) pada pengukuran 15 hari, 30 hari dan 60 hari menunjukkan parameter kualitas limbah cair normal dan sudah memenuhi standar Baku mutu dan sudah layak dibuang ke perairan sungai. Selanjutnya perlakuan tumbuhan air Eceng gondok dan Kiapu pada 15 hari, 30 dan 60 hari pengamatan, menunjukkan tidak ada perubahan warna daun dan tetap berwarna hijau. Berdasarkan penelitian ini kemampuan Reaktor biofilter dengan debit pada effluent 60 liter per hari adalah aliran limbah cair secara terus-menerus, dan merupakan kemampuan Reaktor biofilter yang dicobakan dalam penelitian ini Berdasarkan hasil penelitian ini warna limbah cair yang dihasilkan oleh Reaktor biofilter pada Outlet dan dibandingkan dengan warna limbah cair yang diambil dari tangki Krekel-ujuk seperti Gambar 70 berikut :



Gambar 70. Warna sampel air limbah krikil-ujuk

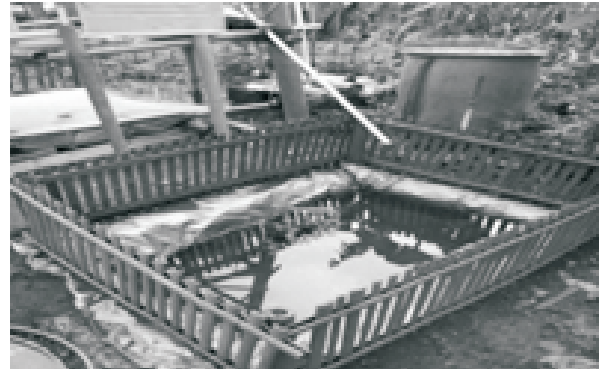
Apabila diperhatikan Gambar 70 di atas memperlihatkan warnanya masih putih-keruh dan bau menyengat masih terasa. Kemudian apabila dibandingkan dengan warna limbah cair yang keluar (outlet) dari Reaktor jauh lebih putih dan tidak berbau seperti pada Gambar 71 berikut ini.



Gambar 71. Warna sampel limbah cair pada Outlet setelah 60 hari.

Kematian ikan

Percobaan pada kolam yang diisi ikan sebanyak 30 ekor, yang menerima limbah cair tahu dari Reaktor biofilter dengan debit 66 liter /hari, pada pengamatan 15 hari dan 30 hari dan 60 hari, menunjukkan bahwa ikan dalam keadaan baik dan tidak ada yang mati, kolam yang digunakan pada Gambar 72.



Gambar 72. Kolam yang digunakan untuk uji kelulushidupan ikan

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan ;

1. Kemampuan reaktor biofilter bermedia zeolit-arang aktif, dan tumbuhan air dengan debit 60 liter/hari dapat menurunkan tingkat pencemaran air dan memenuhi Baku mutu (Kep-51/MKLH/10/1995).
2. Tumbuhan air yang paling efektif menyerap limbah cair tahu adalah Bayongbong (*Phragmites karka*) jika dibandingkan dengan Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kiapu (*Pistia stratoites*).
3. Zeolit-arang aktif mempunyai efektifitas dalam menyerap bahan organik dari limbah cair tahu berturut-turut; ammonia 80,90% , COD 79,30%, BOD₅ 73,30%.

Daftar Pustaka

- Abel, D. P. 1989. *Water pollution biology*, John Wiley & Sons, New York.
- Arifin, M. 1991. *Zeolit alam potensi, teknologi, kegunaan dan prospeknya di Indonesia. Proyek pembangunan pusat informasi mineral*, pusat pengembangan teknologi mineral, Bandung.
- Alaerts, G. dan Santika, S.S. 1987. *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional. Surabaya
- Asdak, C. 2002. *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Black, H. 2004. *Phytoremediation*. A. Growing Field with some Concerns, <http://www.mobot.org/wccross/phytoremediation/phytorem-reviews.htm> (26 Mei 2004).
- Brix, H. 1993. *Wastewater treatment in constructed wetlands, system design, removal processes and treatment performance*, in ; *Constructed wetlands for water quality improvement*, A.G. Moshiri, ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, pp.391-398.
- Cuningham, S. D., W. R. Berthi, and J. W. Huang. 1995. *Phytoremediation of contaminated soil*. Trends. in biotech. 13 ; 393–397.
- Dec, J., and J. M. Bollag. 1994. *The Use of plant materials for the contamination of water polluted with phenols*. Biotech and bioengineering. 44; 1132–1139.
- Dhahiyat, Y. 1990. *Kandungan limbah cair pabrik tahu dan pengelolaan dengan Eceng gondok*. Fakultas Pascasarjana IPB, Bogor, 60 halaman.
- Djaenuddin, 2006. Dwidjosaputra, D. 1984. *Dasar- dasar mikrobiologi*. Jembatan, Jakarta. 210 halaman.

- Gabrial, B. 1994. *Wastewater Microbiology*. A. John Willey & Sons, Inc. New York. 200 halaman.
- Grey, K. R., and A. J. Biddlestone. 1995. *Engineered reed-bed systems for waste water treatment*. Trends in biotechnology. 13 ; 248 – 252.
- Goto, I. 1990. *The application of zeolit on agriculture ; Effect of zeolit on soil improvement zeolit*. 7 (3) ; 8 – 15.
- Hamer, M. J. 1986. *Water and Wastewater Technology*, Second Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Hartati, S., 1994. *Pemanfaatan Eceng gondok dan Kiambang sebagai media Biofilter dalam menurunkan BOD dan COD pada limbah cair tahu*. Skripsi Fakultas Biologi Unseod, Purwokerto.
- Heru. D.W. 1999. *Tekologi pengolahan air*, BPPT, Jakarta.
- Idaman, S.N. dan H.D. Wahyono, 1999. *Teknologi pengolahan air limbah Tahu-Tempe dengan proses Biofilter anaerob dan aerob*. Teknologi Pengolahan Air, BPPT, Jakarta.
- Hardyanti, N dan Suparmi, N.N. 2007. *Fitoremediasi fosfat dengan eceng gondok*, Jurnal Peresipitasi, Vol. 2, No. 1. ISSN. 1907-187 x.
- Harahap, S. Eko, P. dan Emi, S. 2009. *Pemanfaatan zeolit sebagai media biofilter dalam menurunkan kadar amoniak pada limbah cair tahu*. Penelitian laboratorium teknologi pengolahan limbah Faperika Universitas Riau, Pekanbaru, 44 halaman.
- Harahap, S., Budijono, dan Jean, A. 2010. *Pemanfaatan tempurung kelapa sawit (Elais guinensis) sebagai media biofilter dalam menurunkan kadar amoniak pada limbah cair tahu*. Penelitian laboratorium, Faperika Universitas Riau, Pekanbaru, 52 halaman.
- Irianto, G., dan P. Rejekiingrum. 2004. *Efisiensi pemanfaatan sumberdaya sir, makalah dalam seminar nasional Save Our Water*, 11 Desember 2004. Fakultas Pertanian IPB. Bogor.
- Komarawidjaja, W. 1995. *Aktivitas Mikroba aerob pada pengilahan limbah secara biologis limbah cair tahu*. PPS. IPB. Bogor.
- Kurniadie, D. 2010. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Secara Biologis*. Widya Padjadjaran Bandung, 136 halaman.
- Lay, B.W. dan S. Hastowo, 1994. *Analisis Mikroba di Laboratorium*. Raja Grafindo Persada, Jakarta. 130 halaman.
- Lee, C.D., S.B. Wang & C. L. Kuo. 1978. *Benthic macroinverteb and fish as Biological Indicator of water quality, with refrence on water pollution control in developing Countries*. Bangkok, Thailand.
- Mackereth, F.J.H.J. Heron and J.F. Talling, 1989. *Water analysis*. Freshwater Biological Association. Cumbria, UK.
- MENLH. 1995. Keputusan menteri lingkungan hidup, nomor Kep-51/MENLH/10/1995. tentang *baku mutu limbah cair bagi kegiatan pabrik*. Badan pengendalian dampak lingkungan. Jakarta, 60 halaman.
- Meutia, A.A, 2002. *Pengolahan limbah dengan lahan basah Buatan. Prosiding Seminar Nasional Limnologi*. Bogor 22 April 2002. Halaman 145-153.
- Nurhasanah dan B. Pramudyanto, 1987. *Pengolahan buangan industri tahu*. Yayasan Bina Lestari dan Walhi. Semarang. 37 halaman.
- Pilon, S.E. 2003. *Phytoremediation, environmental cleanup using ant*, <http://www. engr. colostate. edu/CH524/eps - phyton.es. Pdf, searh, hytoremediation> (8 Mei 2005).
- Poerwadi, B. 1997. *Prospek Pemanfaatan Zeolit Alam Indonesia sebagai Adsorben Limbah Cair dan Media Fluidisasi dalam Kolom Fluidisasi*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi. (Tidak dipublikasikan, Perpustakaan Lipi, Jakarta.
- Priyanto, B. dan J. Prayitno. 2005. *Fitoremediasi sebagai sebuah teknologi pemulihan pencemaran*, <http://www. tripod. Lycos.con.> (7 Mei 2005).
- Prihatiningsih, B. 1998. *Penangan limbah cair industri di Indonesia*. Jurnal penelitian, 9 (1) : 21 – 27.
- Pusat penelitian dan pengembangan bioteknologi LIPI 2005. *Direktur teknologi pengembangan sumberdaya lahan dan migitasi bencana*. BPPT dan Hanns seidel foundation (HSF). Cibinong. Hal 52 – 69.
- Rahardjo, N. P. 2002. *Teknologi pengolahan limbah cair dengan proses fisika. Teknologi pengolahan limbah cair industri*. Pusat pengkajian dan penerapan teknologi lingkungan bekerja sama dengan badan pengendalian dampak lingkungan, Samarinda-Jakarta.
- Reed, S.C., Bastian, and W. Jewel. 1987. *Engineering assesment of aquaculture, system for waste water treatment environmental protection agency*. 9 ; 1 – 12.
- Riyanto, A. 1991. *Bahan galian industri zeolit. Departemen pertambangan dan energi*. Majallah PPTM. Jakarta. 60 halaman.
- Saeni, M. S. 1989. *Kimia Lingkungan*. Departemen P dan K. Dirjen Dikti. *Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat Institut Pertanian Bogor*. Bogor.
- Said, G. 1996. *Penanganan dan pemanfaatan limbah*. Trubus agriwidya, Ungaran. 106 halaman.
- Said, N.I. dan A. Herlambang, (1999). *Teknologi Pengolahan Limbah*. BPPT. Jakarta. Hal. 242-276.
- Sari, D.C. (2006). *Penggunaan Arang aktif dalam pengolahan limbah tahu*. Thesis Politehnik Negeri. Sriwijaya. Palembang, 35 halaman.
- Setiaji, B., Sri, S., Anik, S. H. 2003. *Modifikasi zeolit alam sebagai adsorben pada pengolahan limbah eksploitasi minyak bumi*. Jurnal kimia lingkungan. 5(1): 49-59.
- Stowell, R.R.J.C., and G. Thobanoglous. 1982. *Toward the rational design of aquatic treatment of waste water*. Department of civil engineering and land, air and water resources. University of California. California.
- Subroto, A. M. 1996. *Fitoremediasi*. prosiding pelatihan dan lokakarya peranan bioremediasi dan pengelolaan lingkungan Cibinong 24 – 28 Juni 1996.
- Sudibyo, M. 1998. *Tanaman eceng gondok (Eichhornia crasspes (Mart) Solm) sebagai penjernih air limbah industri*. Bulletin Pendidikan science 12(1): 44-53.
- Suriawiria, U. 2003. *Mikrobiologi Air dan Dasar-Dasar Pengolahan Buangan secara Biologis*. Alumni, Bandung. 329 halaman.
- Sutamihardja, S.T.M. (1990) *Pegendalian Pencemaran Perairan*, Bahan Kuliah Pascasarjana IPB Bogor, 120 halaman
- Suwardi, 1995. *Prospek Zeolit sebagai Media Tumbuh Tanaman*. Jurnal Agrotek. 2 (2) ; 43 – 47.
- Syafrani, 2006. *Kajian Pemanfaatan Media Penyaring dan Tumbuhan Air untuk Pengendalian Limbah Cair Sub Das Tapung Kiri*, Sekolah Pasca Sarjana IPB. Bogor, 152 halaman.
- Tebbut, T.H.Y., 1992. *Principles of Water Quality Control*. Fourth Edition. Pergamon Press. Oxpord.
- Thobanoglous, G. 1987. *Aquatic Plants System for Wastewater Treatment*. Mognolia Publishing. Orlando.
- Tridech, S.Jr. Englande.M.J. Herbert, and R.F. Wilkinson. 1981. *Tertiary Waswater Treatment by Application of Vascular Plants*, In Cooper, W.J. (Ed) Chemistry in Water Reuse. Vol. 2. Ann Arbor Science, Michigan.
- Yusuf, G. 2008. *Bioremediasi limbah rumah tangga dengan system simulasi tanaman air*. Jurnal bumi lestari. Vol. 8. No. 2. Agustus 2008, halaman 136 – 144.
- Watson, J.T. Reed, S.C. Kaldec, R.H. Knight, R.L. and Whiteouse, A.E. 1989. *Performance Expectations and Loading Rate for Constructed Wetlands*. In D.A. Hammer (Editor). *Constructed Wetlands for wastewater Treatment*. Municipal, Industrial and Agricultural. Lewis Publishers. Michigan. pp. 55-60.
- Wilhm, J.F. 1975. *Biological Indicators of Pollutan River Ecology*. Ed, B.A. Witton, Blackwell, oxford.
- Wood, A. 1990. *Constructed Wetlands for waing and wastewater treatment-Engineering and design consideration. In; Constructed Wetlands in water pollution control*. P.F. Cooper and B.C. Findlater (eds) Pergamon Press. P. 481-494.