

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui penurunan konsentrasi BOD, COD, TSS, dan CN pada limbah cair tapioka dengan *constructed wetlands* menggunakan tanaman kangkung air.

Penelitian ini diawali dengan menanam bibit kangkung dan membuat reaktor *constructed wetlands*. Reaktor dibuat dari kayu dengan ukuran 0,5 m X 1,0 m sebanyak 6 buah, yang terdiri dari 1 buah reaktor kontrol dan 5 buah reaktor uji. Satu reaktor terdapat 36 buah tanaman kangkung air dengan jarak tanam 10 cm X 10 cm. Kangkung air tidak langsung diberi limbah tetapi diberi air biasa. Hal ini dimaksudkan agar kangkung beradaptasi terlebih dahulu dengan lingkungan yang baru. Proses adaptasi ini dilakukan selama seminggu, setelah proses selesai kemudian tanaman dialiri dengan air limbah. Setiap dua hari sekali, air limbah diambil untuk dianalisa di laboratorium.

4.1 Analisa Kualitas Limbah Cair Industri Tapioka

4.1.1 Penurunan Konsentrasi *Biochemical Oxygen Demand* (BOD₅)

BOD adalah banyaknya oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik secara biokimia dalam air. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya penurunan konsentrasi BOD₅ limbah cair tapioka dengan menggunakan variasi konsentrasi limbah yang berbeda.

Penurunan konsentrasi BOD₅ ini cukup nyata terhadap waktu tinggal air limbah dalam reaktor.

Setiap reaktor mempunyai kemampuan yang berbeda – beda dalam mengoksidasi BOD₅. Hasil analisa BOD₅ tiap reaktor dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

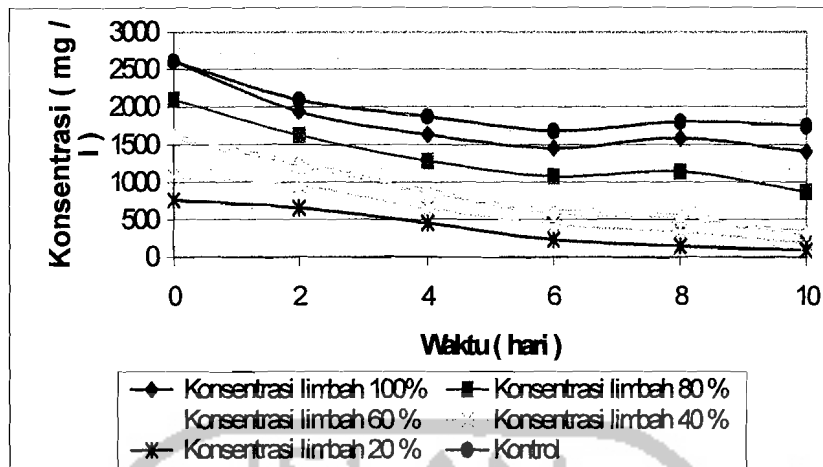
Tabel 4.1 Effisiensi Konsentrasi BOD₅ Limbah Cair Tapioka (%)

Waktu (hari)	Konsentrasi limbah 100 %			Konsentrasi limbah 80 %			Konsentrasi limbah 60 %		
	Konsentrasi Input (mg/l)	Konsentrasi Output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi Input (mg/l)	Konsentrasi Output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi Input (mg/l)	Konsentrasi Output (mg/l)	Effisiensi (%)
0	2618	2618	0	2103	2103	0	1608	1608	0
2	2618	1941	25,84	2103	1625	22,74	1608	1244	22,64
4	1941	1632	37,67	1625	1279	39,17	1244	887	44,88
6	1632	1450	44,59	1279	1078	48,74	887	605	62,40
8	1450	1581	39,62	1078	1138	45,90	605	544	66,20
10	1581	1402	46,45	1138	867	58,78	544	316	80,36

Lanjutan tabel 4.1

Waktu (hari)	Konsentrasi limbah 40 %			Konsentrasi limbah 20 %			Kontrol (konsentrasi limbah 100 % tanpa tanaman)		
	Konsentrasi Input (mg/l)	Konsentrasi Output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi Input (mg/l)	Konsentrasi Output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi Input (mg/l)	Konsentrasi Output (mg/l)	Effisiensi (%)
0	1076	1076	0	763	763	0	2618	2618	0
2	1076	955	11,32	763	654	14,25	2618	2096	19,91
4	955	645	40,08	654	454	40,51	2096	1873	28,44
6	645	434	59,72	454	232	69,55	1873	1682	35,75
8	434	342	68,20	232	151	80,19	1682	1802	31,16
10	342	184	82,94	151	92	87,99	1802	1749	33,18

(Sumber : Hasil analisa laboratorium)



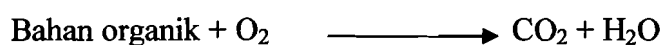
Gbr. 4.1 Hubungan Konsentrasi BOD₅ Limbah Cair Tapioka Terhadap Waktu

Berdasarkan dari gambar 4.1 menunjukkan bahwa untuk reaktor konsentrasi limbah 100 % mengalami penurunan konsentrasi sebesar 44,59 % dengan konsentrasi awal limbah 2618 mg/l menjadi 1450 mg/l pada hari ke 6. Untuk reaktor konsentrasi limbah 80 % mengalami penurunan sebesar 48,74 % dengan konsentrasi awal 2103 mg/l menjadi 1078 mg/l pada hari ke 6. Sedangkan reaktor konsentrasi limbah 60 % mengalami penurunan sebesar 80,36 % dengan konsentrasi awal 1608 mg/l menjadi 316 mg/l pada hari ke 10. Reaktor konsentrasi limbah 40 % mengalami penurunan konsentrasi sebesar 82,94 % dengan konsentrasi awal 1076 mg/l menjadi 184 mg/l pada hari ke 10. Untuk reaktor konsentrasi limbah 20 % terjadi penurunan konsentrasi sebesar 87,99 % pada hari ke 10 dengan konsentrasi awal 763 mg/l menjadi 92 mg/l. Sedangkan reaktor kontrol terjadi penurunan konsentrasi sebesar 35,75 mg/l pada hari ke 6 dengan konsentrasi awal limbah 2618 mg/l dengan 1682 mg/l.

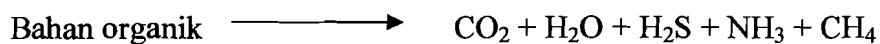
Penurunan konsentrasi BOD₅ di dalam reaktor dapat terjadi karena adanya aktivitas mikroorganisme dan tanaman kangkung air dalam *wetlands*. Selain mikroorganisme dan tanaman, terdapat faktor lain yang mendukung proses penguraian bahan organik yaitu oksigen, oksigen dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik karbon yang terkandung dalam limbah secara aerobik oleh mikroorganisme. Suplai oksigen diperoleh mikroorganisme dari proses fotosintesis tanaman, alga, dan biofilm, proses difusi langsung dari atmosfer ke permukaan air, serta dari translokasi oksigen menuju lapisan rhizosfer. (Merz, 2000; Reed, 1987). Apabila suplai oksigen tidak sesuai (kurang) dengan yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik maka penguraian bahan organik akan berjalan secara anaerob.

Pada reaktor konsentrasi limbah 100 %, 80 %, 60 % dan 100 % tanpa tanaman dari awal pengolahan sampai hari ke 2 terjadi penguraian bahan organik secara aerobik sedangkan pada hari ke 3 sampai hari ke 10 mulai terjadi penguraian bahan organik secara anaerobik, hal ini dapat dilihat karena timbulnya bau pada reaktor yang berasal dari hasil penguraian bahan organik serta terjadinya perubahan warna limbah cair yang terdapat dalam reaktor yang semakin lama semakin hitam. Sedangkan pada reaktor konsentrasi limbah 40 % dan 20 % terjadi penguraian bahan organik secara aerob dari awal pengolahan sampai akhir pengolahan.

Penguraian bahan organik secara aerob :



Penguraian bahan organik secara anaerob :



Proses fotosintesis :

sinar matahari



Proses respirasi oleh mikroorganisme menghasilkan karbondioksida, air, dan energi digunakan oleh tanaman untuk proses fotosintesis dengan bantuan sinar matahari sebagai energi. Karbohidrat dan oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis dimanfaatkan kembali oleh mikroorganisme untuk menguraikan kembali bahan organik yang masih tersisa. Demikian seterusnya hubungan simbiosis mutualisme antara mikroorganisme dengan tanaman berlangsung dalam *wetlands*. Melalui siklus simbiosis ini akan berdampak terhadap penurunan beban pencemar dalam sumber air limbah.

Pada reaktor konsentrasi limbah 100 %, 80 % dan 100 % tanpa tanaman (kontrol) cenderung meningkat pada hari ke 8 dan mengalami penurunan konsentrasi kembali pada hari ke 10. Pada reaktor konsentrasi limbah 100 %, konsentrasi meningkat dari 1450 mg/l pada hari ke 6 menjadi 1581 mg/l pada hari ke 8 dan mengalami penurunan konsentrasi menjadi 1402 mg/l pada hari ke 10. Sedangkan pada reaktor konsentrasi limbah 80 %, konsentrasi mengalami peningkatan dari 1078 mg/l pada hari ke 6 menjadi 1138 mg/l pada hari ke 8, serta

mengalami penurunan konsentrasi pada hari ke 10 menjadi 867 mg/l. Dan pada reaktor kontrol dengan konsentrasi 1682 mg/l pada hari ke 6 meningkat menjadi 1802 mg/l pada hari ke 8, tetapi pada hari ke 10 menurun menjadi 1749 mg/l.

Peningkatan konsentrasi BOD pada reaktor konsentrasi limbah 100 % dan 80 % karena tanaman mati. Kematian tanaman terjadi secara perlahan, mulai terjadi pada hari ke 3 tetapi kematian terbesar terjadi mulai hari ke 6 yaitu lebih dari $\frac{3}{4}$ tanaman dari tanaman keseluruhan yang ada mati pada reaktor tersebut. Hal ini disebabkan karena sianida yang terlalu bersifat racun bagi tanaman dan mikroorganisme, pH yang rendah (asam) dan bahan organik yang terlalu tinggi. Konsentrasi sianida sebelum hari ke 6 merupakan konsentrasi yang berbahaya bagi tanaman dan mikroorganisme air lainnya karena $\geq 0,5$ mg/l.

Batang dan daun tanaman yang mati jatuh ke kolom air sehingga menyebabkan bertambahnya kandungan bahan organik yang berakibat meningkat pula konsentrasi BOD₅ di dalam kolom air. Karena banyaknya tanaman yang mati maka bakteri mendapatkan oksigen dari proses *reaerasi* dari atmosfer. Pada hari ke 10 konsentrasi BOD₅ mengalami penurunan kembali karena bahan organik yang diuraikan oleh bakteri dimanfaatkan kembali oleh tumbuhan untuk berfotosintesis. Kadar sianida pada hari ke 6 sudah berkurang sifat racunnya bagi mikroorganisme dan tanaman. Hal ini terlihat dari munculnya tunas – tunas baru dari permukaan air dalam reaktor konsentrasi limbah 100 % dan 80 % pada hari ke 10. adanya pH yang makin lama meningkat merupakan salah satu factor pendukung pertumbuhan tanaman.

Pada reaktor limbah 100 % tanpa tanaman (kontrol) pertambahan konsentrasi BOD pada hari ke 8 disebabkan karena adanya alga dan bakteri. Karena pada hari ke 6 terlihat lapisan biofilm yang sangat tebal dan hitam pada permukaan reaktor. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyaknya bakteri yang ada di reaktor. Pertumbuhan alga dan bakteri terjadi mulai hari ke 6 karena pada hari ke 6 konsentrasi sianida $\leq 0,5$ mg/l, dimana konsentrasi tersebut adalah bersifat kurang beracun bagi mikroorganisme dan tanaman air. Alga dapat tumbuh dengan pesat di dalam *wetlands* jika di dalam *wetlands* tidak terdapat vegetasi / tumbuhan.

Menurut Scott, 2004 bahwa alga dan bakteri ada di dalam air tawar dan air asin secara alami. Reed, 1987 juga mengemukakan bahwa alga dapat tumbuh apabila tersedia nutrisi dan sinar matahari yang cukup untuk proses asimilasi alga. Alga dan bakteri yang tumbuh pesat merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi BOD₅ dalam limbah cair pada reaktor. Hal ini disebabkan karena adanya siklus hidup dan matinya alga, bakteri, serta bangkai daun yang mati dan jatuh ke dalam air limbah. Apabila alga, bakteri dan daun serta batang tanaman mati di dalam air maka akan menyebabkan jumlah karbon organik bertambah di dalam reaktor.

Selisih efisiensi antara tanaman kangkung air dengan tanpa tanaman kangkung air dalam mengurangi kandungan bahan-bahan organik dalam air limbah untuk menurunkan parameter pencemar BOD pada penelitian ini dapat dilihat di bawah ini :

Tabel 4.2 Selisih Effisiensi Removal Konsentrasi BOD antara Penggunaan Kangkung Air dan tanpa kangkung air

Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Total effisiensi	Selisih Effisiensi
100 % dengan tanaman	%	46,45	13,27
80 % dengan tanaman	%	58,78	25,60
60 % dengan tanaman	%	80,36	47,18
40 % dengan tanaman	%	82,94	49,76
20 % dengan tanaman	%	87,99	54,81
100 % tanpa tanaman	%	33,18	-

(Sumber : Hasil perhitungan)

Dari tabel di atas, tanaman juga berperan dalam penguraian bahan organik. Tanaman bekerjasama dengan mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tapioka. Keuntungan menggunakan tanaman dalam reaktor yaitu tanaman dapat menjadi tempat melekatnya bakteri terutama di bagian akar, tanaman dapat mentransfer oksigen yang dihasilkan dari fotosintesis yang terjadi di bagian daun ke akar, tanaman juga dapat mencegah terjadinya pertumbuhan alga yang pesat, dan tanaman juga dapat memperlambat aliran air sehingga meningkatkan proses sedimentasi.

Proses dekomposisi akan berjalan seimbang apabila jumlah bahan organik yang masuk ke dalam reaktor sebanding dengan jumlah persediaan oksigen. Kekurangan oksigen dalam air serta adanya pelarutan karbon dioksida dapat menghambat proses penguraian bahan organik.

Tabel 4.3 Hasil *Test of Between – Subjects Effects* Konsentrasi BOD₅

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BOD

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	11478347.7 ^a	9	1275371.970	88.083	.000
Intercept	29800333.3	1	29800333.33	2058.155	.000
WAKTU	3924797.067	5	784959.413	54.213	.000
KONST	7553550.667	4	1888387.667	130.421	.000
Error	289582.933	20	14479.147		
Total	41568264.0	30			
Corrected Total	11767930.7	29			

a. R Squared = .975 (Adjusted R Squared = .964)

Dari hasil *Test of Between – Subjects Effects* konsentrasi BOD₅ terhadap waktu detensi, diperoleh F hitung adalah 54,213 dengan probabilitas 0,000. Oleh karena probabilitas < 0,05, maka H₀ ditolak yaitu waktu detensi mempunyai pengaruh terhadap penurunan konsentrasi BOD₅. Waktu detensi yang lama akan memberikan kontak yang lebih lama antara mikroorganisme dengan air limbah serta memberikan kesempatan tanaman untuk metransfer oksigen ke akar. Di samping itu juga memberikan kesempatan kepada mikroorganisme dan tanaman untuk beradaptasi terhadap kandungan yang terdapat dalam limbah cair. Variasi konsentrasi juga mempengaruhi penurunan konsentrasi BOD₅, hal ini dapat dilihat dari *Test Between – Subjects Effects* yang mempunyai F hitung 130,421 dengan probabilitas 0,000 yang berarti $\alpha < 0,05$ sehingga diputuskan bahwa H₀ ditolak yaitu variasi konsentrasi limbah mempunyai pengaruh terhadap penurunan konsentrasi BOD₅ (Lampiran V). Karena semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi pula kandungannya. Apabila kandungan lebih tinggi daripada

kandungan limbah yang dapat diuraikan tanaman dan bakteri maka kandungan yang berlebih tersebut dapat menjadi racun bagi tanaman dan bakteri sehingga menyebabkan kematian tanaman dan bakteri. Kematian tanaman dan bakteri dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi BOD₅.

4.1.2 Penurunan Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD adalah banyaknya oksigen terlarut yang digunakan untuk mengoksidasi zat organik yang ada dalam air limbah secara kimia. Banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik yang dapat teroksidasi dapat diukur dengan menggunakan senyawa oksidator kuat dalam kondisi asam (Metcalf and Eddy, 1991). Pengukuran COD dilakukan karena dalam limbah cair tapioka mengandung sianida. Sianida merupakan senyawa beracun bagi tumbuhan dan mikroorganisme air jika konsentrasi di dalam air > 0,5 mg / l. Pengukuran nilai COD sangat diperlukan untuk mengukur bahan organik pada air buangan industri dan domestik yang mengandung senyawa / unsur yang beracun bagi mikroorganisme (Metcalf and Eddy, 1991). Di bawah ini dapat dilihat konsentrasi COD masing – masing reaktor.

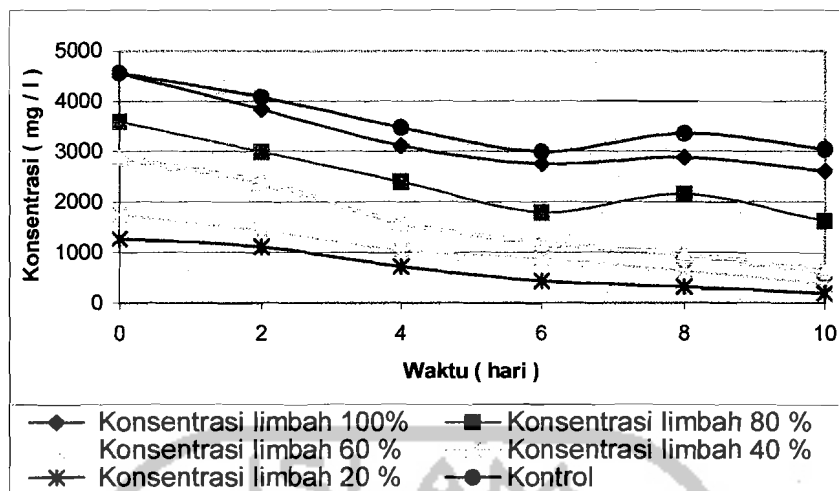
Tabel 4.4 Effisiensi Konsentrasi COD Limbah Cair Tapioka (%)

Waktu (hari)	Konsentrasi limbah 100 %			Konsentrasi limbah 80 %			Konsentrasi limbah 60 %		
	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)
0	4560	4560	0	3600	3600	0	2880	2880	0
2	4560	3840	15,79	3600	3000	16,67	2880	2400	16,67
4	3840	3120	31,58	3000	2400	33,33	2400	1600	44,44
6	3120	2760	39,47	2400	1800	50,00	1600	1200	58,33
8	2760	2880	36,84	1800	2160	40,00	1200	960	66,67
10	2880	2621	42,53	2160	1622	54,93	960	624	78,33

Lanjutan tabel 4.4

Waktu (hari)	Konsentrasi limbah 40 %			Konsentrasi limbah 20 %			Kontrol (konsentrasi limbah 100 % tanpa tanaman)		
	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)
0	1760	1760	0	1280	1280	0	4560	4560	0
2	1760	1440	18,18	1280	1120	12,50	4560	4080	10,53
4	1440	1040	40,91	1120	720	43,75	4080	3480	23,68
6	1040	880	50,00	720	440	65,63	3480	3000	34,21
8	880	640	63,64	440	320	75,00	3000	3360	26,32
10	640	374	78,73	320	187	85,37	3360	3058	32,95

(Sumber : Hasil analisa laboratorium)



Gbr. 4.2 Hubungan Konsentrasi COD Limbah Cair Tapioka Terhadap Waktu

Berdasarkan dari tabel 4.4 diketahui pada reaktor konsentrasi limbah 100% menunjukkan penurunan konsentrasi sebesar 39,47 % dengan konsentrasi awal 4560 mg/l menjadi 2760 mg/l pada hari ke 6. Untuk reaktor konsentrasi limbah 80 % penurunan konsentrasi terjadi sebesar 50 % dengan konsentrasi awal 3600 mg/l menjadi 1800 mg/l pada hari ke 6. Sedangkan reaktor konsentrasi limbah 60 % mengalami penurunan konsentrasi sebesar 78,33 % dengan konsentrasi awal 2880 mg/l menjadi 624 mg/l pada hari ke 10. Dan reaktor konsentrasi limbah 40 % terjadi penurunan konsentrasi sebesar 78,73 % dengan konsentrasi awal 1760 mg/l menjadi 364 mg/l pada hari ke 10. Reaktor konsentrasi limbah 20 % menunjukkan penurunan konsentrasi sebesar 85,37 % dengan konsentrasi awal 1280 mg/l menjadi 187 mg/l pada hari ke 6. Pada reaktor kontrol menunjukkan penurunan konsentrasi sebesar 34,21 % dengan konsentrasi awal 4560 mg/l menjadi 3000 mg/l pada hari ke 6.

Oksigen sangat penting peranannya dalam proses penguraian bahan organik secara aerob. Merz, 2000 dan Reed, 1987, mengemukakan bahwa oksigen di dalam air diperoleh dari hasil proses fotosintesis tanaman, alga dan biofilm, proses difusi langsung dari atmosfer ke permukaan air, reaerasi serta translokasi oksigen menuju lapisan rhizosfer. Apabila suplai oksigen tidak sesuai (kurang) dengan yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik maka penguraian bahan organik akan berjalan secara anaerob.

Penurunan konsentrasi COD di dalam *constructed wetlands* karena adanya aktivitas mikroorganisme dan tanaman yang ada dalam sistem tersebut. Pada reaktor limbah konsentrasi 100 80, 60 dan 100 % tanpa tanaman mengalami proses penguraian secara aerob pada hari pertama sampai ke 2 pengolahan. Sedangkan proses penguraian bahan organik secara anaerob terjadi pada hari ke 3 sampai hari ke 10 pengolahan. Dari awal pengolahan sampai akhir, penguraian bahan organik terjadi secara aerob pada reaktor konsentrasi 20 % dan 40 %.

Penguraian bahan organik secara aerob :

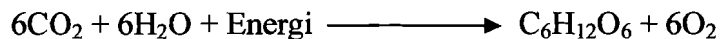


Penguraian bahan organik secara anaerob :



Proses fotosintesis :

sinar matahari



Dalam menguraikan bahan organik diperlukan suatu kerjasama antara mikroorganisme dengan tanaman. Karena tanaman memerlukan karbon dioksida dan air yang dihasilkan dari respirasi mikroorganisme untuk proses fotosintesis. Sebaliknya mikroorganisme memerlukan karbohidrat dan oksigen dari hasil fotosintesis untuk menguraikan bahan organik yang masih tersisa. Demikian seterusnya hubungan simbiosis mutualisme antara mikroorganisme dengan tanaman berlangsung dalam *wetlands*.

Dari gambar 4.2 menunjukkan peningkatan konsentrasi COD pada hari ke 8 pada reaktor konsentrasi limbah 100 %, reaktor konsentrasi limbah 80 % dan reaktor kontrol. Dan kemudian diikuti penurunan konsentrasi pada hari ke 10. Pada reaktor konsentrasi limbah 100 % peningkatan konsentrasi terjadi dari konsentrasi 2760 mg/l pada hari ke 6 menjadi 2880 mg/l pada hari ke 8, dan mengalami penurunan menjadi 2621 mg/l pada hari ke 10. Sedangkan reaktor konsentrasi limbah 80 % mengalami peningkatan konsentrasi dari konsentrasi 1800 mg/l pada hari ke 6 menjadi 2160 mg/l pada hari ke 8, dan mengalami penurunan menjadi 1622 mg/l pada hari ke 10. Dan pada reaktor kontrol peningkatan konsentrasi terjadi dari konsentrasi 3000 mg/l pada hari ke 6 menjadi

3360 mg/l pada hari ke 8, dan mengalami penurunan menjadi 3058 mg/l pada hari ke 10.

Peningkatan konsentrasi COD pada reaktor konsentrasi limbah 100 % dan 80 % disebabkan adanya kematian tanaman. Batang dan daun tanaman yang mati jatuh ke kolom air sehingga menyebabkan bertambahnya kandungan bahan organik yang berakibat meningkat pula konsentrasi COD di dalam kolom air. Kematian tanaman terjadi secara perlahan, pada hari ke 3 tanaman mulai mati dan kematian terbesar terjadi pada hari ke 6 yaitu lebih dari $\frac{3}{4}$ tanaman dari tanaman keseluruhan yang ada mati pada reaktor tersebut. Hal ini disebabkan karena sianida yang terlalu bersifat racun bagi tanaman dan mikroorganisme, pH yang rendah (asam) dan bahan organik yang terlalu tinggi. Konsentrasi sianida sebelum hari ke 6 merupakan konsentrasi yang berbahaya bagi tanaman dan mikroorganisme air lainnya karena $\geq 0,5$ mg/l. Tetapi akar tanaman yang mati tersebut tidak ikut mati karena pada hari ke 10 tanaman baru tumbuh di dalam reaktor tersebut.

Peningkatan konsentrasi COD pada hari ke 8 pada reaktor limbah 100 % tanpa tanaman (kontrol) disebabkan karena populasi alga dan bakteri. Karena pada hari ke 6 terlihat lapisan biofilm yang sangat tebal dan hitam pada permukaan reaktor. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyaknya bakteri yang ada di reaktor. Pertumbuhan alga dan bakteri terjadi mulai hari ke 6 karena pada hari ke 6 konsentrasi sianida $\leq 0,5$ mg/l, dimana konsentrasi tersebut adalah konsentrasi yang mengurangi sifat racunnya bagi mikroorganisme dan tanaman air.

Tersedianya nutrisi dan sinar matahari yang cukup sangat mendukung pertumbuhan alga. Pertumbuhan alga dapat dicegah dengan menanam tanaman air (vegetasi) dalam *wetlands*.

Menurut Scott, 2004 bahwa alga dan bakteri ada di dalam air tawar dan air asin secara alami. Reed, 1987 juga mengemukakan bahwa alga dapat tumbuh apabila tersedia nutrisi dan sinar matahari yang cukup untuk proses asimilasi alga. Alga dan bakteri yang tumbuh pesat merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan peningkatan bahan organik dalam limbah cair. Hal ini disebabkan karena adanya siklus hidup dan matinya alga, bakteri, serta bangkai daun yang mati dan jatuh ke dalam air limbah. Apabila alga, bakteri dan daun serta batang tanaman mati di dalam air maka akan menyebabkan jumlah karbon organik bertambah di dalam reaktor.

Selisih efisiensi removal pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air dan tanpa tanaman kangkung air dalam mengurangi kandungan bahan-bahan organik dalam air limbah untuk menurunkan parameter pencemar COD pada penelitian ini dapat dilihat dari tabel di bawah ini:

Tabel 4.5 Selisih Effisiensi Removal Konsentrasi COD antara Penggunaan Kangkung Air dan tanpa kangkung air

Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Total effisiensi	Effisiensi Tanaman
100 % dengan tanaman	%	42,53	9,58
80 % dengan tanaman	%	54,93	21,98
60 % dengan tanaman	%	78,33	45,38
40 % dengan tanaman	%	78,73	45,78
20 % dengan tanaman	%	85,37	52,42
100 % tanpa tanaman	%	32,95	-

(Sumber : Hasil analisa laboratorium)

Pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa tanaman berperan dalam menguraikan bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tapioka. Penguraian bahan organik oleh bakteri dimanfaatkan tanaman untuk fotosintesis. Fungsi tanaman dalam reaktor adalah sebagai berikut: tanaman dapat menjadi tempat melekatnya bakteri terutama di bagian akar, tanaman dapat mentransfer oksigen yang dihasilkan dari fotosintesis yang terjadi di bagian daun ke akar, tanaman juga dapat mencegah terjadinya pertumbuhan alga yang pesat, dan tanaman juga dapat memperlambat aliran air sehingga meningkatkan proses sedimentasi.

Tabel 4.6 Hasil *Test of Between – Subjects Effects* Konsentrasi COD

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: COD

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	38076335.5 ^a	9	4230703.948	94.322	.000
Intercept	98022532.8	1	98022532.80	2185.374	.000
WAKTU	10851864.0	5	2170372.800	48.388	.000
KONST	27224471.5	4	6806117.883	151.740	.000
Error	897077.667	20	44853.883		
Total	136995946	30			
Corrected Total	38973413.2	29			

a. R Squared = .977 (Adjusted R Squared = .967)

Dari hasil *Test of Between – Subjects Effects* konsentrasi COD terhadap waktu detensi, diperoleh F hitung adalah 48,388 dengan probabilitas 0,000. Oleh karena probabilitas probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak yaitu waktu detensi mempunyai pengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD. Besar kecilnya COD akan mempengaruhi jumlah pencemar oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologi dan mengakibatkan berkurangnya jumlah oksigen terlarut dalam air. Penurunan konsentrasi COD dapat terjadi secara optimal dengan waktu detensi yang cukup, bahan organik yang terdapat dalam limbah cair mengalir melewati partikel – partikel tanah dengan waktu detensi yang cukup sehingga akan memberikan kesempatan kontak yang lebih lama antara mikroorganisme, tanaman dan air limbah. Variasi konsentrasi juga mempengaruhi penurunan konsentrasi COD, hal ini dapat dilihat dari *Test Between – Subjects Effects* yang mempunyai F hitung 151, 740 dengan probabilitas 0,000 yang berarti $\alpha < 0,05$ sehingga diputuskan bahwa H_0 ditolak yaitu variasi konsentrasi limbah

mempunyai pengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD (Lampiran V). Karena semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi pula kandungannya. Apabila kandungan lebih tinggi daripada kandungan limbah yang dapat diuraikan tanaman dan bakteri maka kandungan yang berlebih tersebut dapat menjadi racun bagi tanaman dan bakteri. Keracunan ini dapat menyebabkan kematian bagi tanaman dan bakteri sehingga dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi COD.

4.1.3 Penurunan Konsentrasi Padatan Tersuspensi (TSS)

Padatan tersuspensi dalam *wetlands* dapat dihilangkan / diproduksi secara alami. Proses utama untuk meremoval padatan tersuspensi di dalam *wetlands* dengan proses fisika yaitu : proses filtrasi, sedimentasi, intersepsi dan flokulasi.

Dari tabel 4.7 di bawah ini, terlihat penurunan konsentrasi padatan tersuspensi yang nyata. Pada reaktor konsentrasi limbah 100 % terjadi penurunan konsentrasi TSS sebesar 41,75 % dari 1243 mg/l menjadi 724 mg/l pada hari ke 6. Reaktor konsentrasi limbah 80 % mengalami penurunan konsentrasi sebesar 51,96 % dengan konsentrasi awal 945 mg/l menjadi 454 mg/l pada hari ke 6. Pada reaktor konsentrasi limbah 60 % terjadi penurunan konsentrasi sebesar 79,67 % dari konsentrasi awal 777 mg/l menjadi 158 mg/l pada hari ke 10. Pada reaktor konsentrasi limbah 40 % terjadi penurunan konsentrasi sebesar 80,04 % dari 466 mg/l menjadi 93 mg/l pada hari ke 10. Pada reaktor konsentrasi limbah 20 % terjadi penurunan konsentrasi sebesar 80,65 % dari 248 mg/l menjadi 48 mg/l

pada hari ke 10. Pada reaktor kontrol terjadi penurunan konsentrasi TSS sebesar 21,08 % dari 1243 mg/l menjadi 981 mg/l pada hari ke 6.

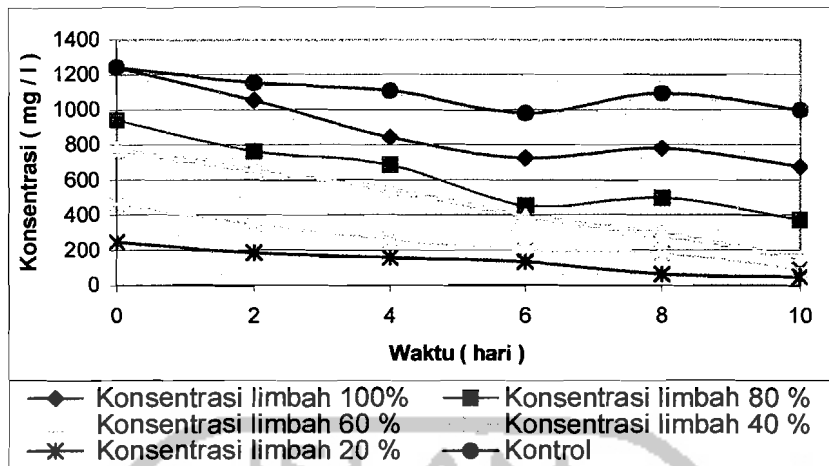
Tabel 4.7 Effisiensi Konsentrasi TSS Limbah Cair Tapioka (%)

Waktu (hari)	Konsentrasi limbah 100 %			Konsentrasi limbah 80 %			Konsentrasi limbah 60 %		
	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)
0	1243	1243	0	945	945	0	777	777	0
2	1243	1056	15,04	945	764	19,15	777	654	15,83
4	1056	844	32,10	764	688	27,20	654	546	29,73
6	844	724	41,75	688	454	51,96	546	395	49,16
8	724	779	37,33	454	497	47,41	395	290	62,68
10	779	677	45,53	497	372	60,63	290	158	79,67

Lanjutan tabel 4.7

Waktu (hari)	Konsentrasi limbah 40 %			Konsentrasi limbah 20 %			Kontrol (konsentrasi limbah 100 % tanpa tanaman)		
	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)
0	466	466	0	248	248	0	1243	1243	0
2	466	348	25,32	248	187	24,60	1243	1155	7,08
4	348	261	43,99	187	160	35,48	1155	1111	10,62
6	261	201	56,87	160	135	45,56	1111	981	21,08
8	201	183	60,73	135	64	74,19	981	1094	11,99
10	183	93	80,04	64	48	80,65	1094	1001	19,47

(Sumber : Hasil analisa laboratorium)



Gbr. 4.3 Hubungan Konsentrasi TSS Limbah Cair Tapioka Terhadap Waktu

Pada semua reaktor yang ditanami dengan tanaman, bahan organik dimanfaatkan tanaman untuk proses fotosintesis dari hasil penguraian oleh bakteri. Seiring dengan berlangsungnya proses fotosintesis dan penguraian maka terjadi juga proses penurunan konsentrasi padatan tersuspensi.

Dengan aliran yang pelan maka padatan tersuspensi akan membentuk flok – flok dengan diameter yang semakin lama makin membesar (proses flokulasi) dan semakin berat yang akhirnya akan mengendap di dasar *wetlands* dan membentuk sedimen(proses sedimentasi). Proses flokulasi terjadi pada semua reaktor *wetlands* baik yang ada tanaman maupun tidak. Partikel yang lebih ringan akan ikut terbawa oleh air dan tertahan oleh tanaman lalu mengendap. Sedangkan partikel yang lebih kecil lagi akan terserap pada lapisan biofilm yang menempel pada permukaan tanah dan kolom air. Proses intersepsi dan filtrasi padatan terjadi pada padatan yang terjebak dalam lapisan *litter* yang dibentuk oleh tanaman *wetlands*. Proses sedimentasi pada reaktor *wetlands* yang ada tanamannya lebih

efektif daripada *wetlands* yang tidak bertanaman. Karena tanaman dapat meningkatkan proses sedimentasi dengan mengurangi mixing pada kolom air dan resuspensi dari partikel pada permukaan lapisan sedimen.

Padatan tersuspensi di dalam *wetlands* terjadi apabila ada kematian dari invertebrata, batang tanaman yang jatuh, produksi dari plankton dan mikroba di dalam kolam air atau yang menempel dalam permukaan tanaman, dan senyawa kimia yang tersepitasi (USEPA, 1999). Menurut kywater. org., bahwa TSS dalam air terdiri dari bahan organik seperti alga, zooplankton, bakteri dan pengurai, dan bahan anorganik seperti *silt*, *clay* dan lain – lain.

Dari gambar 4.3 pada hari ke 8 terjadi peningkatan konsentrasi pada tiga reaktor yaitu : reaktor konsentrasi limbah 100 %, reaktor konsentrasi limbah 80 % dan reaktor kontrol. Tetapi pada hari 10 terjadi penurunan konsentrasi TSS pada ke tiga reaktor tersebut. Pada reaktor konsentrasi limbah 100 %, peningkatan terjadi dari konsentrasi 724 mg/l pada hari ke 6 menjadi 779 mg/l pada hari ke 8, kemudian menurun menjadi 677 mg/l pada hari ke 10. Reaktor konsentrasi limbah 80 %, mengalami peningkatan dari konsentrasi 454 mg/l pada hari ke 6 menjadi 497 mg/l pada hari ke 8, kemudian mengalami penurunan menjadi 372 mg/l pada hari ke 10. Sedangkan pada reaktor kontrol, peningkatan terjadi dari konsentrasi 981 mg/l pada hari ke 6 menjadi 1094 mg/l pada hari ke 8, terjadi penurunan pada hari ke 10 menjadi 1001 mg/l .

Peningkatan konsentrasi TSS terjadi pada reaktor konsentrasi limbah 100 % dan limbah 80 % karena terjadinya kematian tanaman. Kematian terjadi secara bertahap, mulai hari ke 3 pengolahan dan kematian tanaman lebih dari $\frac{1}{4}$

terjadi pada hari ke 6 pengolahan. Hal ini disebabkan karena konsentrasi sianida awal sampai hari ke 6 pengolahan $\geq 0,05$ mg/l yang bersifat racun bagi tanaman dan mikroorganisme air, pH yang bersifat asam, tidak mendukung pertumbuhan tanaman dan mikroorganisme, serta bahan organik yang berlebihan menyebabkan daun dan batang kering yang akhirnya mati.. Batang dan daun tanaman yang mati jatuh ke kolom air sehingga menyebabkan bertambahnya kandungan bahan organik.

Sedangkan pada reaktor konsentrasi limbah 100 % tanpa tanaman, pertumbuhan alga dan bakteri terjadi mulai hari ke 6 karena sianida menjadi kurang beracun ($\leq 0,5$ mg/l) bagi mikroorganisme dan tanaman air. Pertumbuhan bakteri ditunjukkan dengan adanya lapisan biofilm yang semakin tebal dan hitam. Pertumbuhan alga pada reaktor konsentrasi limbah 100 % tanpa tanaman didukung dengan tidak adanya tanaman yang menghalangi masuknya sinar matahari yang diperlukan, adanya pH yang semakin lama mulai meningkat juga bahan organik yang memenuhi untuk pertumbuhan alga dan bakteri.

Pada reaktor yang tidak ditumbuhi tanaman atau vegetasi *wetlands* pada umumnya alga dapat tumbuh dengan cepat, karena sinar matahari yang masuk tidak terhalangi oleh tanaman dan tingkat kompetisi dengan tanaman pun tidak terjadi dalam pemanfaatan nutrisi untuk pertumbuhannya. Temperatur dan hembusan angin tidak berpengaruh secara langsung terhadap terjadinya resuspensi padatan yang sudah mengendap karena lapisan sedimentasi berada di bawah permukaan air. Tanaman juga dapat meningkatkan proses sedimentasi dengan

mengurangi mixing pada kolom air dan resuspensi dari partikel pada permukaan sedimen.

Pada penelitian terdahulu dikemukakan bahwa dengan jarak penanaman yang terlalu jauh dapat menyebabkan pembentukan flok – flok kurang sempurna, sehingga efisiensi penurunan TSS menjadi rendah (Andriyani, 2004). Pada penelitian terdahulu dengan jarak tanaman 20 cm x 15 cm diperoleh efisiensi penurunan TSS yang cukup kecil dibandingkan penurunan TSS tanpa tanaman. Berdasarkan dari penelitian terdahulu maka untuk meningkatkan penurunan konsentrasi TSS maka tanaman kangkung air ditanam dengan jarak 10 cm X 10 cm.

Alga dan *cyanobacteria* adalah mikroorganisme yang terdapat dalam air secara alami baik air tawar maupun air asin (Scott, 2004). Alga merupakan organisme eukaryotik yang menyimpan materi genetiknya dalam sebuah jaringan membran yang disebut nucleus. Sedangkan *cyanobacteria* berasal dari kelompok *eubacteria*. *Cyanobacteria* tidak termasuk alga karena tidak mempunyai nucleus atau prokaryotik, dan bukan termasuk bakteri karena mempunyai klorofil dan menggunakan matahari sebagai sumber energi. Pertumbuhan alga dan *cyanobacteria* yang pesat dapat terjadi jika kebutuhan dalam pertumbuhannya terpenuhi seperti : nutrien, sinar matahari dan oksigen dengan pertumbuhan paling tinggi pada saat keadaan temperatur tinggi dan hangat.

Tabel 4.8 Kelompok Alga Yang Umumnya Terdapat Pada Air Tawar

Nama Ilmiah	Nama Umum
Chlorophytes	Green algae
Cryptophytes	Cryptomonads
Dinophytes	Dinoflagellates
Euglenophytes	Euglenoids
Bacillariophytes	Diatoms
Chrysophytes	Yellow – green algae

Selisih efisiensi removal tanaman kangkung air dengan tanpa tanaman kangkung air dalam mengurai kandungan bahan-bahan organik dalam air limbah untuk menurunkan parameter pencemar TSS pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.9 Selisih Efisiensi Removal Konsentrasi TSS antara Penggunaan Kangkung Air dan tanpa kangkung air

Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Total efisiensi	Efisiensi Tanaman
100 % dengan tanaman	%	45,53	26,06
80 % dengan tanaman	%	60,63	41,16
60 % dengan tanaman	%	79,67	60,20
40 % dengan tanaman	%	80,04	60,57
20 % dengan tanaman	%	80,65	61,18
100 % tanpa tanaman	%	19,47	-

(Sumber : Hasil analisa laboratorium)

Pada tabel 4.9 dapat dilihat bahwa tanaman berperan dalam menguraikan bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tapioka. Penguraian bahan organik ini menyebabkan penurunan konsentrasi TSS. Tanaman berfungsi untuk menyerap unsur – unsur yang dihasilkan dari penguraian bahan organik oleh

bakteri. Tanaman juga dapat memperlambat aliran air sehingga meningkatkan proses sedimentasi dan mencegah pertumbuhan alga.

Tabel 4.10 Hasil *Test of Between – Subjects Effects* Konsentrasi TSS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TSS

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2839491.633 ^a	9	315499.070	53.107	.000
Intercept	6775401.633	1	6775401.633	1140.489	.000
WAKTU	741093.767	5	148218.753	24.949	.000
KONST	2098397.867	4	524599.467	88.305	.000
Error	118815.733	20	5940.787		
Total	9733709.000	30			
Corrected Total	2958307.367	29			

a. R Squared = .960 (Adjusted R Squared = .942)

Dari hasil *Test of Between – Subjects Effects* di atas, diperoleh F hitung 24,949 dengan probabilitas 0,000. Dari probabilitas $< 0,05$ maka diputuskan bahwa ada pengaruh waktu detensi terhadap penurunan konsentrasi TSS. Penurunan konsentrasi TSS dapat terjadi secara optimal dengan waktu detensi yang cukup. Padatan tersuspensi yang terdapat dalam limbah cair mengalir melewati tanaman akan tertahan yang semakin lama semakin berat, pembentukan flok akan sempurna, intersespsi berjalan dengan baik yang akan mengendap di atas partikel – partikel tanah dengan waktu detensi yang cukup, sehingga akan memberikan kesempatan yang lebih lama antara tanaman, tanah dan air limbah. Dari tabel 4.10, diperoleh probabilitas 0,000 dengan F hitung 88,305. sehingga dapat diputuskan bahwa variasi konsentrasi limbah berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi TSS. Ada pengaruh dari variasi konsentrasi limbah karena

semakin tinggi konsentrasi limbah maka makin tinggi pula konsentrasi dari kandungan limbah tersebut. Tanaman mempunyai ketahanan / dapat hidup pada batas konsentrasi kandungan limbah tertentu. Sehingga apabila konsentrasi dari kandungan limbah lebih dari batas yang dapat menyokong pertumbuhan tanaman maka dapat menjadi racun bagi tanaman tersebut, yang dapat membawa kematian bagi tanaman dan dapat meningkatkan konsentrasi TSS dalam kolom air.

4.1.4 Penurunan Konsentrasi Sianida (CN)

Pada gambar 4.11 menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi CN dalam limbah cair tapioka yang diolah dengan menggunakan *constructed wetland*, sedangkan vegetasi yang digunakan adalah tanaman kangkung air. Pada reaktor konsentrasi limbah 100 %, penurunan terjadi dari 3,292 mg/l menjadi 0,011 mg/l dengan efisiensi penurunan sebesar 99,68 %. Pada reaktor konsentrasi limbah 80 %, penurunan konsentrasi terjadi sebesar 99,72 % dari konsentrasi 3,085 mg/l menjadi 0,009 mg/l. Pada reaktor konsentrasi limbah 60 %, mengalami penurunan sebesar 99,84 % dengan konsentrasi awal 2,829 mg/l menjadi 0,005 mg/l. Sedangkan reaktor konsentrasi limbah 40 %, penurunan konsentrasi terjadi sebesar 99,88 % dari konsentrasi 2,138 mg/l menjadi 0,003 mg/l. Untuk reaktor konsentrasi limbah 20 %, penurunan terjadi dari 1,123 mg/l menjadi 0,001 mg/l dengan efisiensi penurunan sebesar 99,91 %. Dan reaktor kontrol, mengalami penurunan konsentrasi sebesar 97,13 % dengan konsentrasi awal 3,292 mg/l menjadi 0,095 mg/l.

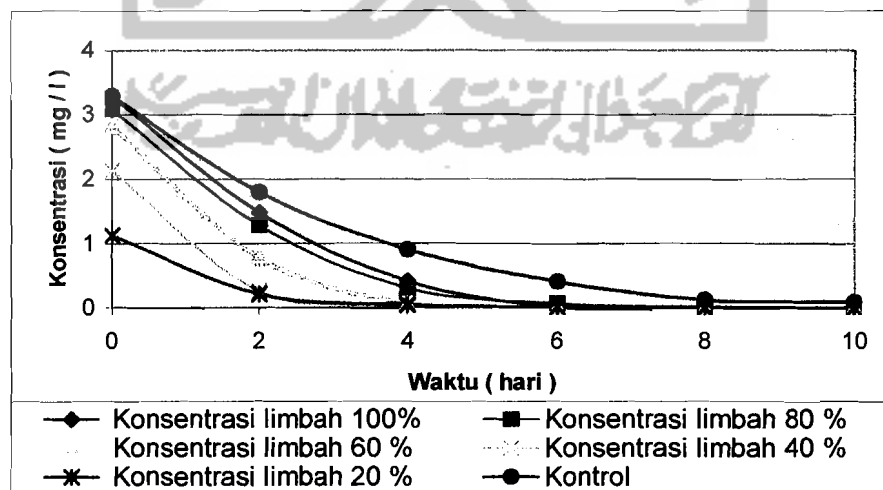
Tabel 4.11 Efisiensi Konsentrasi CN Limbah Cair Tapioka (%)

Waktu (hari)	Konsentrasi limbah 100 %			Konsentrasi limbah 80 %			Konsentrasi limbah 60 %		
	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)
0	3,292	3,292	0	3,085	3,085	0	2,829	2,829	0
2	3,292	1,482	54,99	3,085	1,281	54,48	2,829	0,780	72,45
4	1,482	0,415	87,41	1,281	0,311	89,92	0,780	0,072	97,47
6	0,415	0,016	99,51	0,311	0,063	97,97	0,072	0,019	99,35
8	0,016	0,011	99,68	0,063	0,014	99,56	0,019	0,007	99,77
10	0,011	0,011	99,68	0,014	0,009	99,72	0,007	0,005	99,84

Lanjutan tabel 4.11

Waktu (hari)	Konsentrasi limbah 40 %			Konsentrasi limbah 20 %			Kontrol (konsentrasi limbah 100 % tanpa tanaman)		
	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)	Konsentrasi input (mg/l)	Konsentrasi output (mg/l)	Effisiensi (%)
0	2,138	2,138	0	1,123	1,123	0	3,292	3,292	0
2	2,138	0,255	88,07	1,123	0,217	80,72	3,292	1,795	45,47
4	0,255	0,064	97,01	0,217	0,043	96,22	1,795	0,905	72,52
6	0,064	0,016	99,25	0,043	0,009	99,24	0,905	0,406	87,68
8	0,016	0,005	99,79	0,009	0,002	99,82	0,406	0,122	96,31
10	0,005	0,003	99,88	0,002	0,001	99,91	0,122	0,095	97,13

(Sumber : Hasil analisa laboratorium)

**Gbr. 4.4 Hubungan Konsentrasi CN Limbah Cair Tapioka Terhadap Waktu**

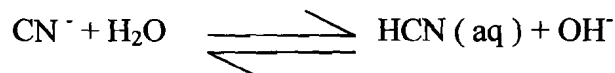
Penurunan konsentrasi sianida di dalam reaktor terjadi karena adanya aktivitas mikroorganisme dan proses penguapan. Dimana sianida dioksidasi menjadi ammonium dan karbon dioksida oleh bakteri. Karbon dioksida yang dihasilkan digunakan tanaman untuk berfotosintesis. Dari fotosintesis dihasilkan oksigen yang akan digunakan oleh mikroorganisme untuk menguraikan sianida yang tersisa. Namun penurunan sianida oleh bakteri sangat kecil karena sianida merupakan senyawa yang berbahaya bagi tanaman dan mahluk air.

Persamaan reaksi untuk penguraian sianida oleh mikroorganisme adalah sebagai berikut :

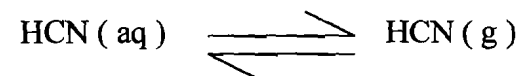


Proses yang paling dominan dalam penurunan konsentrasi sianida dalam *wetlands* adalah penguapan. Karena di dalam air dan dalam kondisi asam, sianida akan membentuk asam sianida / hidrogen sianida (HCN). Berat gas HCN lebih ringan dari udara dan mudah menguap, oleh karena itu mudah menyebar ke mana – mana. Pada tekanan 107,6 kPa dan suhu 27,2 °C, HCN mengalami penguapan.

Reaksi sianida dalam air dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :



Proses penguapan sianida dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :



Selisih efisiensi removal pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air dengan reaktor yang tanpa tanaman kangkung air dalam mengurai

kandungan bahan-bahan an-organik dalam air limbah untuk menurunkan parameter pencemar CN pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.12 Selisih Effisiensi Removal Konsentrasi CN antara PenggunaanKangkung Air dan tanpa kangkung air

Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Total effisiensi	Effisiensi Tanaman
100 % dengan tanaman	%	99,68	2,55
80 % dengan tanaman	%	99,72	2,59
60 % dengan tanaman	%	99,84	2,71
40 % dengan tanaman	%	99,88	2,75
20 % dengan tanaman	%	99,91	2,78
100 % tanpa tanaman	%	97,13	-

(Sumber : Hasil analisa laboratorium)

Penguapan dan oksidasi oleh bakteri dapat menyebabkan penurunan konsentrasi CN. Semakin luas permukaan maka sinar matahari yang masuk semakin banyak dan penguapan dapat berjalan secara cepat. Tabel di atas menunjukkan bahwa tanaman berperan dalam menurunkan konsentrasi CN. Selain untuk tempat melekat bakteri, tanaman juga berfungsi untuk mencegah pertumbuhan alga. Karena alga dapat menghalangi masuknya sinar matahari sehingga proses penguapan akan terganggu.

Tabel 4.13 Hasil *Test of Between – Subjects Effects* Konsentrasi CN

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CN

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	25.859 ^a	9	2.873	19.988	.000
Intercept	10.300	1	10.300	71.650	.000
WAKTU	24.177	5	4.835	33.638	.000
KONST	1.682	4	.420	2.925	.047
Error	2.875	20	.144		
Total	39.033	30			
Corrected Total	28.734	29			

a. R Squared = .900 (Adjusted R Squared = .855)

Untuk mengetahui pengaruh waktu detensi terhadap penurunan konsentrasi sianida maka dilakukan *Test of Between – Subjects Effects*. Dari *Test of Between – Subjects Effects* pada tabel 4.13, diperoleh probabilitas $0,000 < 0,05$ yang berarti ada pengaruh waktu detensi yang nyata terhadap penurunan konsentrasi sianida. Waktu detensi yang lama memberikan waktu yang cukup untuk proses penguapan dalam reaktor seiring dengan masuknya sinar matahari ke dalam kolom air. Sedangkan variasi konsentrasi limbah juga berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi CN karena dilihat dari hasil *Test of Between – Subjects Effects* di atas, dimana probabilitas $0,047 < 0,05$ maka variasi konsentrasi berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi CN.

4.2 Analisa Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica*)

Untuk dapat hidup tumbuh – tumbuhan memerlukan zat makanan (unsur hara) yang diambil dalam molekul melalui daun, tetapi umumnya unsur hara diambil oleh tumbuhan dalam bentuk ion – ion molekul dari dalam tanah. Makin panjang akar, maka makin tersedia unsur hara bagi tanaman, demikian juga bila makin besar sistem perakaran dan pertambahan volume percabangan akar, akan meningkatkan penyerapan unsur hara dari dalam tanah.

Pengambilan air dan mineral pada kangkung air, terutama dilakukan oleh akar muda. Air yang diserap oleh ujung akar dan meristem sangat sedikit. Di daerah yang terdapat rambut – rambut akar berlangsung penyerapan mineral yang paling utama, ion – ion secara selektif diangkat dan dikumpulkan oleh akar, sel – sel ujung akar yang tidak terdiferensiasi dan tidak bervokula tidak menghimpun ion – ion tersebut, melainkan sel – sel bervokula dan terdiferensiasi yang besar dalam menggumpulkan mineral. Ion – ion tersebut masuk dan keluar dari sel – sel secara pasif.

Menurut Rahmat Rukmana, jarak tanam kangkung air adalah 20 cm X 30 cm. Dengan jarak tanam ini diharapkan bahwa tidak ada persaingan dalam penyerapan nutrien. Pada penelitian terdahulu dengan jarak tanam tanaman kangkung air 20 cm X 15 cm mempunyai efisiensi penurunan konsentrasi TSS yang lebih kecil dibanding efisiensi penurunan TSS tanpa tanaman (Andriyani,2004). Hal ini disebabkan karena jarak yang tanam yang terlalu jauh dapat menyebabkan pembentukan flok – flok yang kurang sempurna sehingga

effisiensi penurunan konsentrasi TSS menjadi rendah. Berdasarkan dari penelitian terdahulu maka untuk meningkatkan efisiensi penurunan konsentrasi TSS, kangkung air ditanam dengan jarak 10 cm X 10 cm. Dengan jarak tanaman yang tidak terlalu dekat dan tidak terlalu jauh maka tidak akan terjadi persaingan nutrisi serta proses sedimentasi dapat berjalan dengan baik.

Kepadatan tingkat tanaman dalam reaktor adalah sebagai berikut :

- Luas daun kangkung air rata-rata = 7 cm x 3,8 cm
- Banyaknya daun kangkung air = 5 helai
- Jumlah kangkung air = 36 buah
- Luas permukaan reaktor = 0,5 m²
- Kepadatan tanaman adalah
$$= \frac{(7 \times 3,8) \times 5 \times 36}{10.000} = 0,48 \text{ m}^2$$
- Luas daerah kontak udara = 0,5 m² - 0,48 m²
= 0,02 m²

Tanaman kangkung pada reaktor konsentrasi limbah 100 %, 80 % dan 60 % mulai mati pada hari ke 3 setelah dialiri air limbah karena limbah cair tapioka bersifat asam (pH=4,5) sehingga tidak mendukung terhadap pertumbuhan tanaman, adanya senyawa sianida yang merupakan senyawa beracun untuk tanaman dengan konsentrasi di air $\geq 0,5 \text{ mg / l}$, serta adanya bahan organik yang berlebih sehingga menyebabkan daun dan batang kering yang akhirnya mati. Kematian terbesar tanaman terjadi pada konsentrasi limbah 100 % dan 80 % pada hari ke 6, lebih dari $\frac{3}{4}$ tanaman mati. Pada hari ke 8 setelah air limbah dialirkan

tanaman kangkung pada reaktor konsentrasi limbah 60 % mulai tumbuh, sedangkan pada reaktor konsentrasi limbah 100 % dan 80 % tanaman kangkung mulai tumbuh pada hari ke 10. Hal ini terjadi karena konsentrasi sianida berada pada kondisi kurang beracun terhadap tanaman ($\leq 0,05$ mg/l), dan pH yang makin lama makin meningkat.

Tabel 4. 14 Lingkungan Tanaman Kangkung Air Untuk Bertahan Hidup

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi
1	pH	-	6,9 - 8,2
2	Oksigen terlarut	mg / L	2,5 - 10,2
3	Nitrat	mg / L	0,04 - 2,3
4	Phospat	mg / L	2,5

Sumber : Erin Harwood and Mark Systma, 2003

Analisa terhadap tanaman kangkung air dilakukan pengamatan secara visual. Setiap hari diukur lebar daun, panjang daun dan tinggi tanaman kangkung air. Kangkung air mempunyai lebar daun 4,6 cm, panjang daun 6,2 cm dan tinggi tanaman 44,2 cm sebelum diberi / dialiri air limbah. Setelah dialiri air limbah tanaman kangkung air mengalami pertumbuhan dan tidak mengubah morfologi dari kangkung itu sendiri. Berikut pertumbuhan kangkung air setelah dialiri air limbah selama 10 hari.

Tabel 4.15 Pertumbuhan Tanaman Kangkung Air pada Konsentrasi 80 %

Waktu (hari)	Tinggi tanaman (cm)	Lebar daun (cm)	Panjang daun (cm)
0	44,2	4,6	6,2
1	46,4	4,6	6,3
2	47,9	4,6	6,3
3	49	4,6	6,4
4	49,5	4,6	6,4
5	49,7	4,6	6,4
6	50	4,6	6,4
7	50,6	4,6	6,4
8	51,5	4,6	6,4
9	51,5	4,6	6,4
10	51,5	4,6	6,5

(Sumber : Pengamatan visual)

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA