
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pertumbuhan Tanaman Dalam Reaktor

Proses pengolahan limbah industri tapioka dengan sistem *Constructed Wetlands* yang menggunakan tanaman Eceng Gondok sebagai media utama di dalam meremoval kandungan pencemar air limbah ditentukan dengan terjadinya penurunan konsentrasi dari parameter-parameter BOD₅, COD, TSS, Sianida (CN). Dengan variasi dan kondisi tanaman dalam reaktor sebagai berikut :

- a. Reaktor limbah tanpa Eceng Gondok sebagai control, proses yang terjadi pada reaktor ini adalah proses filtrasi melalui media tanah dalam reaktor dan terjadinya evaporasi dari efek sinar matahari. Proses removal pencemar mengalami penurunan akibat terjadinya proses pembusukan yang cukup tinggi dan cepat dalam reaktor, hal ini mempengaruhi tingkat penurunan parameter COD dan BOD pada limbah karena kondisi oksigen yang semakin menipis akibat timbulnya bakteri-bakteri yang tidak diinginkan dalam proses penelitian ini. Timbulnya proses pembusukan pada reaktor menimbulkan bau yang menyengat, hal ini dikarenakan faktor oksigen dan sinar matahari yang sangat sedikit masuk kedalam air limbah. Secara fisik terlihat lapisan putih kental di permukaan limbah, kondisi air limbah pada hari ke-2 sampai hari ke-6 masih terlihat putih sedangkan pada hari ke-8 dan 10 warna air secara fisik menjadi agak keruh dengan tingkat proses pembusukan agak berkurang, parameter yang dianalisa dalam reaktor control ini mengalami penurunan dengan rata-

rata sebesar BOD 75,90%, COD 63,21%, TSS 45,62% dan Sianida 99,87%.

berikut tabel 4.1 kondisi air limbah dalam reaktor control

Tabel 4.1 Kondisi Air Limbah Reaktor Control

Hari pada Reaktor Control	Kondisi Air Limbah			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke- 0	Normal	Tidak berbau	putih keruh	4
Hari ke- 2	terjadi proses pembusukan	berbau	putih keruh	4 - 5
Hari ke- 4	terjadi proses pembusukan	berbau	putih keruh	4 - 5
Hari ke- 6	terjadi proses pembusukan	berbau	putih keruh	4 - 5
Hari ke- 8	terjadi proses pembusukan	berbau	putih agak keruh	5 - 5,8
Hari ke- 10	terjadi proses pembusukan	berbau	putih agak keruh	5,8 - 6

- b. Reaktor dengan Eceng Gondok dan konsentrasi limbah 100%, dalam reaktor ini diharapkan terjadinya proses meremoval kandungan limbah oleh tanaman dan media dalam reaktor. Proses-proses yang terjadi adalah penguraian limbah menjadi nutrisi bagi tanaman yaitu bahan organik yang terkandung dalam air

limbah berupa karbohidrat dengan adanya oksigen akan menghasilkan karbondioksida dan air (Bahan organik $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$).

kemudian terjadinya proses filtrasi limbah oleh media tanam. Penguraian limbah dengan mikroorganisme yang tumbuh di dalam limbah yang diharapkan berupa mikroorganisme aeraob karena mikroorganisme ini selain mengurai limbah juga akan mempertahankan kandungan oksigen dalam air limbah. Sehingga akan mengurangi bau. Pertumbuhan tanaman Eceng Gondok pada reaktor ini pada hari ke-0 sampai ke-4 masih cukup baik sehingga pada kondisi ini proses penguraian limbah cukup efektif hal ini dipengaruhi oleh daya serap akar tanaman terhadap limbah masih cukup baik, sedangkan pada hari ke-6 dan seterusnya terjadi penurunan tingkat meremoval air limbah oleh tanaman diakibatkan karena tanaman Eceng Gondok mengalami penurunan daya tahan hidupnya hal ini terlihat dengan semakin layunya tanaman dan mengalami fase kematian akibat tingginya konsentrasi air limbah dan adanya senyawa Sianida yang bersifat asam, selain itu pengaruh pH pada air limbah yang berkisar antara 4 – 5,5 atau bersifat asam juga mempengaruhi daya tahan Eceng Gondok. Berikut tabel 4.2 gambaran kondisi pertumbuhan tanaman Eceng Gondok dengan konsentrasi air limbah 100%.

Tabel 4.2 Kondisi Pertumbuhan Tanaman Eceng Gondok

Hari Pada Reaktor limbah 100%	Kondisi dan Jumlah Komponen Dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke-0	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	segar (hijau), panjang rata-rata 16 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 2	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	agak layu, hijau, panjang rata-rata 16 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 4	layu, kecoklatan, panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	layu, coklat kekuningan, panjang rata-rata 14 cm, jumlah 5 batang	sebagian kuning sebagian hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 6	layu, kecoklatan, panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	coklat, layu, panjang rata-rata 14 cm, jumlah 4-5 batang	kecoklatan, kuning hijau, luas daun 4 x 5,7 cm, jumlah 3-4 helai	12	18
Hari ke- 8	coklat (mati), panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	kecoklatan layu, kering, panjang rata-rata 12 cm, jumlah 3-4 batang	kecoklatan, layu, kering, sedikit hijau, luas daun 3 x 5 cm, jumlah 3-4 helai	22	8
Hari ke- 10	coklat (mati), panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	coklat, mati, kering, panjang rata-rata 12 cm, jumlah 3-4 batang	coklat, kering, mati luas daun 3 x 4 cm, jumlah 3-4 helai	30	0



Tabel 4.3 Kondisi Air Limbah Konsentrasi 100 %

Hari pada Reaktor 100%	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 100%			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke-0	Normal	tidak berbau	Putih keruh	4
Hari ke- 2	terjadi proses pembusukan	berbau	Putih keruh, agak bening	4,8 - 5
Hari ke- 4	terjadi proses pembusukan	berbau	Putih keruh, agak bening	5 - 5,5
Hari ke- 6	terjadi proses pembusukan	berbau	Putih keruh, agak bening	5,5 - 6
Hari ke- 8	terjadi proses pembusukan	berbau	putih agak keruh, agak bening	6
Hari ke- 10	terjadi proses pembusukan	berbau	putih agak keruh, agak bening	6,5 - 6.8

- c. Reaktor dengan Eceng Gondok konsentrasi limbah 80% proses yang terjadi dalam reaktor ini juga seperti pada reaktor pertama yaitu proses penguraian bahan organik dengan mikroorganisme aerobik dan proses filtrasi oleh media tanah. Pertumbuhan tanaman Eceng Gondok pada hari ke 0 sampai 4 masih relatif baik sehingga penguraian konsentrasi limbah terjadi puncaknya pada hari ke 2, hal ini dikarenakan media tanaman belum terpengaruh oleh adanya racun Sianida dan kandungan oksigen dalam air limbah relatif masih normal. Sedangkan pada hari ke 6 sampai ke 10 pertumbuhan tanaman Eceng Gondok semakin menurun karena telah terjadinya proses pembusukan pada permukaan air yaitu terbentuknya lapisan kental yang menutupi permukaan air sehingga akan menurunkan kandungan oksigen yang ada di dalam air serta pengaruh

Sianida yang terserap tanaman. Proses removal konsentrasi air limbah terjadi penurunan yang kecil hal ini juga disebabkan efisiensi daya serap tanaman berkurang akibat pengaruh dari kadar O_2 yang menurun, pengaruh Sianida, tidak maksimalnya sinar matahari yang masuk kedalam air, kondisi pertumbuhan akar Eceng Gondok yang menurun. Perkembangan pada reaktor ini hanya terlihat pada peningkatan pH pada hari ke 8 – 10 yaitu berkisar antara 5,8 – 6. Berikut tabel gambaran kondisi tanaman Eceng Gondok dalam reaktor konsentrasi 80%.



وَمَا كُنَّا بِمُعْجِزِينَ لَكُمْ

Tabel 4.4 Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 80 %

Hari Pada Reaktor Limbah 80%	Kondisi dan Jumlah Komponen Dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke-0	Segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	segar (hijau), panjang rata-rata 16 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 2	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	agak layu, hijau, panjang rata-rata 16 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 4	layu kecoklatan, panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	layu, panjang rata-rata 15,6 cm, jumlah 5 batang	hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 6	layu, kecoklatan, panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	coklat, layu, panjang rata-rata 14 cm, jumlah 5 batang	coklat, hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 4-5 helai	4	26
Hari ke- 8	coklat pucat, panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	kecoklatan layu, kering, panjang rata-rata 13 cm, jumlah 4-5 batang	kecoklatan, layu, kering, hijau, luas daun 4 x 6 cm, jumlah 4-5 helai	12	18
Hari ke- 10	coklat (mati), panjang 10 cm berserabut sangat banyak dan banyak partikel putih tapioka	coklat, kering, panjang rata-rata 12 cm, jumlah 4-5 batang	coklat, kering, mati, luas daun 4 x 5 cm, jumlah 4-5 helai	27	3

Tabel 4.5 Kondisi Air Limbah Konsentrasi 80%

Hari pada Reaktor 80 %	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 80 %			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke-0	Normal	Tidak berbau	putih keruh	4
Hari ke- 2	terjadi pembusukan	berbau	putih keruh, agak bening	4,8 - 5
Hari ke- 4	terjadi pembusukan	berbau	putih keruh, agak bening	5 - 5,5
Hari ke- 6	terjadi pembusukan	berbau	putih keruh, agak bening	5,5 - 6
Hari ke- 8	terjadi pembusukan	berbau	putih agak keruh, agak bening	6
Hari ke- 10	terjadi pembusukan	berbau	putih agak keruh, agak bening	6,5 – 6,8

d. Reaktor dengan Eceng Gondok dan konsentrasi limbah 60%, proses-proses removal limbah pada reaktor ini lebih meningkat dari reaktor-reaktor sebelumnya. Pertumbuhan media Eceng Gondok pada hari ke 0 – 4 cukup baik sedangkan pada hari ke-6 kondisi Eceng Gondok layu hal ini terlihat pada bagian batang Eceng Gondok agak berwarna coklat kehijauan sedangkan daunnya sebagian berwarna kuning dan sebagian lagi berwarna hijau, sedangkan pada hari ke 8 – 10 kondisi tanaman sudah kurang efisien lagi hampir seluruh komponen tanaman terlihat coklat. Terbentuknya proses pembusukan pada reaktor ini terjadi pada hari ke 4 sehingga mulai pada hari inilah proses removal pencemar sudah mengalami penurunan. Perubahan warna air limbah menjadi agak hitam dan bau terjadi pada reaktor ini pada hari ke 8 hal ini terjadi dikarenakan penyerapan limbah oleh Eceng Gondok untuk parameter Sianida telah mengalami kejenuhan dan pada pangkal akar Eceng

Gondok seperti mengeluarkan cairan berwarna hitam kebiruan. Kondisi pH

terjadi peningkatan pada hari ke 6 yaitu berkisar 5,7 – 6.

Tabel 4.6 Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 60%

Hari Pada Reaktor limbah 60%	Kondisi dan Jumlah Komponen Dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke-0	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	segar (hijau), panjang rata-rata 17 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke-2	segar, hitam kebiruan, panjang 10 cm serabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	segar (hijau), panjang rata-rata 17 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke-4	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 17 cm, jumlah 5 batang	hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke-6	agak kecoklatan, panjang 10 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	layu, panjang rata-rata 16,3 cm, jumlah 5 batang	bercak kuning, hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 4-5 helai	0	30
Hari ke-8	coklat, panjang 10 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	kuning coklat, layu, panjang rata-rata 15,6 cm, jumlah 5 batang	kuning kecoklatan, layu, hijau, luas daun 5 x 5 cm, jumlah 4-5 helai	6	24
Hari ke-10	coklat (mati), panjang 10 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	coklat, kering, panjang rata-rata 14 cm, jumlah 4-5 batang	coklat, kering, mati, luas daun 5 x 5 cm, jumlah 4-5 helai	18	12

Tabel 4.7 Kondisi Air Limbah Konsentrasi 60%

Hari pada Reaktor 60%	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 60%			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke-0	Normal	Tidak berbau	putih keruh	4
Hari ke- 2	Normal	Berbau	putih keruh, agak bening	4,8 - 5
Hari ke- 4	terjadi pembusukan	Berbau	putih keruh, agak bening	5 - 5,5
Hari ke- 6	terjadi pembusukan	Berbau	putih agak keruh, agak bening, kehitaman	5,7 - 6
Hari ke- 8	terjadi pembusukan	Berbau	berwarna hitam	6
Hari ke- 10	terjadi pembusukan	Berbau	berwarna hitam, agak bening	6,5 - 6,8

- e. Reaktor dengan Eceng Gondok dan konsentrasi limbah 40%, proses meremoval limbah pada reaktor ini berjalan baik dari hari ke 0 sampai ke 10. hal ini dikarenakan pertumbuhan Eceng Gondok relatif baik. Kondisi Eceng Gondok pada hari ke 2 – 6 relatif normal sedangkan pada hari ke 8 – 10 sebagian kecil tanaman mengalami kematian. Hal ini disebabkan adanya pengaruh terjadinya proses pembusukan yang mempengaruhi kadar oksigen dan asamnya racun Sianida serta sifat air limbah yang asam. Terbentuknya proses pembusukan pada permukaan air dalam reaktor ini terjadi pada hari ke 4. Perubahan warna air menjadi hitam pada reaktor ini terjadi pada hari ke 4 – 6 karena Eceng Gondok mengalami kejenuhan setelah menyerap Sianida pada limbah tapioka sehingga racun Sianida pada air limbah yang terserap dilepas kembali dalam bentuk cairan berwarna hitam kebiruan. Kondisi limbah pada reaktor setelah mengalami fase ini menjadi bening, warna putih keruh pada

awal limbah dimasukkan dan warna hitam akibat pengaruh Sianida sudah

hilang, hal ini disebabkan reaksi penetralisiran limbah berlangsung normal

kembali. pH pada reaktor ini berkisar antara 5,7 – 6,5 yaitu mulai terjadi

peningkatan pada hari ke 4 sampai ke 10.

Tabel 4.8 Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 40%

Hari Pada Reaktor limbah 40%	Kondisi dan Jumlah Komponen Dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke-0	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	segar (hijau), panjang rata-rata 17,8 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 2	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	segar (hijau), panjang rata-rata 17,9 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 4	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 12 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 17,9 cm, jumlah 5 batang	hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 6	relatif segar, (hitam kecoklatan), panjang 12 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	agak layu, panjang rata-rata 17,8 cm, jumlah 5 batang	bercak kuning, hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 4-5 helai	0	30
Hari ke- 8	hitam kecoklatan, panjang 12,4 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	kuning, layu, panjang rata-rata 17,6 cm, jumlah 5 batang	kuning kecoklatan, layu, hijau, luas daun 5 x 5 cm, jumlah 4-5 helai	6	24
Hari ke- 10	agak coklat, panjang 12,4 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	coklat, kering, layu, panjang rata-rata 17,4 cm, jumlah 5 batang	coklat, kering, layu, mati, luas daun 5 x 5 cm, jumlah 4-5 helai	12	18

Tabel 4.9 Kondisi Air Limbah Dengan Konsentrasi 40%

Hari pada Reaktor 40%	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 40%			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke-0	Normal	tidak berbau	putih keruh	4
Hari ke- 2	Normal	berbau	putih,agak bening	4,8 - 5
Hari ke- 4	terjadi proses pembusukan	berbau	putih kehitaman, agak bening	5,7 - 6
Hari ke- 6	terjadi proses pembusukan	berbau	agak bening, kehitaman	6,5
Hari ke- 8	terjadi proses pembusukan	berbau	bening agak hitam	6,5
Hari ke- 10	terjadi proses pembusukan	berbau	bening (air rawa)	6,8

- f. Reaktor dengan Eceng Gondok dan konsentrasi limbah 20%, proses removal pada reaktor ini sangat baik dari hari ke-0 sampai ke-10, dengan kondisi pertumbuhan tanaman Eceng Gondok relatif baik, hal ini terlihat pada hari ke 2 air limbah yang awalnya putih mengalami perubahan warna menjadi agak bening. Fase perubahan warna air limbah menjadi hitam terjadi pada hari ke 4 sampai ke 6. Proses pembusukan pada reaktor ini terjadi pada hari ke 6 tetapi timbulnya filamen di permukaan air limbah tidak banyak dan tipis sehingga tidak begitu mempengaruhi masuknya sinar matahari ke dalam air, sehingga kandungan oksigen relatif baik. pH air mulai mengalami normal sejak pada hari ke-4 yaitu berkisar antara 5.7- 6.5.

Tabel 4.10 Kondisi Tanaman Eceng Gondok Konsentrasi 20%

Hari Pada Reaktor limbah 20%	Kondisi dan Jumlah Komponen Dari Eceng Gondok				
	Akar	Batang	Daun	Mati	Hidup
Hari ke-0	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak	segar (hijau), panjang rata-rata 16 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 2	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 10 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	segar (hijau), panjang rata-rata 16 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 4	segar, normal (hitam kebiruan), panjang 12 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 16,3 cm, jumlah 5 batang	segar hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 6	relatif segar, (hitam kecoklatan), panjang 12,4 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 16,3 cm, jumlah 5 batang	hijau, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
	relatif segar, (hitam kecoklatan), panjang 12,6 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 16,4 cm, jumlah 5 batang	hijau, bercak kuning, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	0	30
Hari ke- 8	relatif segar, (hitam kecoklatan), panjang 12,7 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 16,4 cm, jumlah 5 batang	hijau, bercak kuning, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	1	29
Hari ke- 10	relatif segar, (hitam kecoklatan), panjang 12,7 cm berserabut sangat banyak, banyak partikel putih tapioka	hijau, panjang rata-rata 16,4 cm, jumlah 5 batang	hijau, bercak kuning, luas daun 5 x 6 cm, jumlah 5 helai	1	29

Tabel 4.11 Kondisi Air Limbah Dengan Konsentrasi 20%

Hari pada Reaktor 20%	Kondisi Air Limbah Konsentrasi 20%			
	Kondisi Air	Bau	Warna	pH
Hari ke - 0	Normal	tidak berbau	putih keruh	4
Hari ke - 2	Normal	tidak berbau	putih , agak bening	4,8 - 5
Hari ke - 4	sedikit adanya proses pembusukan	berbau	putih kehitaman, agak bening	5,7 - 6,5
Hari ke - 6	proses pembusukan	berbau	agak bening, kehitaman	6,5
Hari ke - 8	proses pembusukan	berbau	bening (air rawa)	6,5
Hari ke -10	sedikit adanya proses pembusukan	berbau	bening (air rawa)	6,8

4.1.1 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah Industri Tapioka Terhadap Daya Serap Akar Tanaman

Pengaruh kadar konsentrasi air limbah terhadap pertumbuhan dan daya serap akar secara umum memberikan dampak negatif, dibandingkan dengan pertumbuhan akar tanaman yang tidak diberikan air limbah. Hal ini terjadi dikarenakan kandungan Sianida pada air limbah relatif tinggi yaitu berkisar 3,332 mg/L yang mana pengaruh keberadaan Sianida akan mematikan tanaman ataupun organisme air, pada konsentrasi 1,8 mg/L Sianida ini akan mampu melumpuhkan 50% tanaman yang ada dalam air dalam waktu 48 jam.³⁷ Selain faktor Sianida

³⁷ Eckenfelder, W.W, 1978

pengaruh kadar O₂ dalam air limbah, transformasi gas-gas yang dihasilkan dalam air limbah yang terhalang juga mempengaruhi daya serap akar

Efisiensi daya serap akar tanaman terhadap air limbah tapioka ini sangat tergantung dari tingkat konsentrasi air limbah yang digunakan, di mana semakin kecil konsentrasi limbah tapioka yang digunakan maka semakin besar daya serap akar terhadap kandungan zat organik pada limbah, hal ini terlihat pada konsentrasi limbah 20% dan 40% dari analisa laboratorium tingkat efisiensi removal dalam reaktor dengan tanaman Eceng Gondok berkisar antara 51 % - 98 % untuk BOD₅, 83,4% untuk COD, 45,65% untuk TSS, dan 53,8% - 99,8% untuk Sianida.

Pengaruh konsentrasi air limbah pada akar terlihat dari perubahan warna dan kesegaran akar tanaman. Akar tanaman Eceng Gondok yang normal berwarna hitam kebiruan, sedangkan pada penelitian ini akar tanaman untuk konsentrasi air limbah 60%, 80%, dan 100% berwarna kecoklatan (mati).

4.1.2 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah Industri Tapioka Terhadap Pertumbuhan Panjang Tanaman

Adanya air limbah industri tapioka dalam reaktor memberikan dampak pengaruh negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan dari batang tanaman Eceng Gondok. Hal ini terlihat selama proses penanaman Eceng Gondok yaitu selama 10 hari proses penelitian, pertumbuhan batang Eceng Gondok dari setiap variasi waktu yang diteliti tidak mengalami pertumbuhan bahkan mengalami penyusutan, layu kemudian mati. Pengaruh konsentrasi air limbah pada Eceng Gondok sangat tinggi, yaitu untuk konsentrasi limbah 60%, 80%, dan

100% pertumbuhan Eceng Gondok sangat terhambat sedangkan untuk konsentrasi air limbah 20%, dan 40% hanya sedikit mempengaruhi pertumbuhan dari Eceng Gondok. Bentuk fisik perubahan dari batang Eceng Gondok dapat dilihat pada bab 4.1 analisa pertumbuhan Eceng Gondok dalam reaktor.

Terhambatnya pertumbuhan Eceng Gondok ini dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut, tingginya kandungan racun Sianida air limbah tapioka yang menghambat pertumbuhan dari akar Eceng Gondok sehingga berpengaruh pada pertumbuhan batangnya, tingginya partikel solid air limbah sehingga mempengaruhi sinar matahari untuk masuk kedalam air dan menghalangi proses *absorben* nutrisi oleh akar, serta bahan organik limbah yang tinggi sehingga menimbulkan proses pembusukan yang mengurangi dan menghambat proses terbentuknya oksigen, dan berakibat terhalangnya pelepasan gas-gas yang dihasilkan oleh akar tanaman ke permukaan air karena adanya lapisan lendir (biofilm) di permukaan air dari hasil proses pembusukan, dan timbulnya jenis mikroorganisme anaerob yang membuat air bau.

4.1.3 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah Industri Tapioka Terhadap Pertumbuhan Luas Daun Tanaman

Pengaruh pemberian konsentrasi air limbah tapioka dalam reaktor juga memberikan dampak yang negatif terhadap pertumbuhan daun dari Eceng Gondok, hal ini ditunjukkan dengan pertumbuhan daun Eceng Gondok pada konsentrasi air limbah 60%, 80%, dan 100% dan berdasarkan variasi waktu yang diamati mengalami penurunan yang drastis dan bahkan mati. Sedangkan untuk

konsentrasi 20%, dan 40% pertumbuhan daun Eceng Gondok lebih baik. Bentuk fisik perubahan daun Eceng Gondok dapat dilihat pada Bab 4.1 Gambaran dan kondisi pertumbuhan Eceng Gondok.

Keadaan dari air limbah tapioka yang umumnya memiliki konsentrasi pencemar limbah yang tinggi seperti konsentrasi racun Sianida yang menyebabkan kematian jika berada pada kadar $>1,8$ mg/L, partikel koloid yang tinggi serta kandungan senyawa-senyawa organik yang tinggi inilah yang membuat pertumbuhan tanaman Eceng Gondok mengalami penghambatan dalam pertumbuhannya.

4.2 Analisa Kualitas Air Limbah Industri Tapioka

Proses pengolahan air limbah industri tapioka dengan menggunakan sistem *Constructed wetlands* ini menunjukkan proses penurunan kandungan air limbah yang bervariasi, sesuai dengan tingkat konsentrasi dari air limbah dalam reaktor. Secara umum didapat bahwa semakin tinggi tingkat konsentrasi air limbah tapioka yang digunakan maka akan semakin rendah kemampuan removal yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan sifat dan karakteristik air limbah tapioka yang sangat bervariasi di mana kandungan racun Sianida, partikel *solids* dan BOD₅, COD yang sangat tinggi.

Variasi pengolahan yang dilakukan pada penelitian ini berupa variasi konsentrasi air limbah dan variasi waktu dari pengolahan. Dari variasi ini akan dianalisa secara laboratorium tingkat removal yang dihasilkan. Proses pengolahan

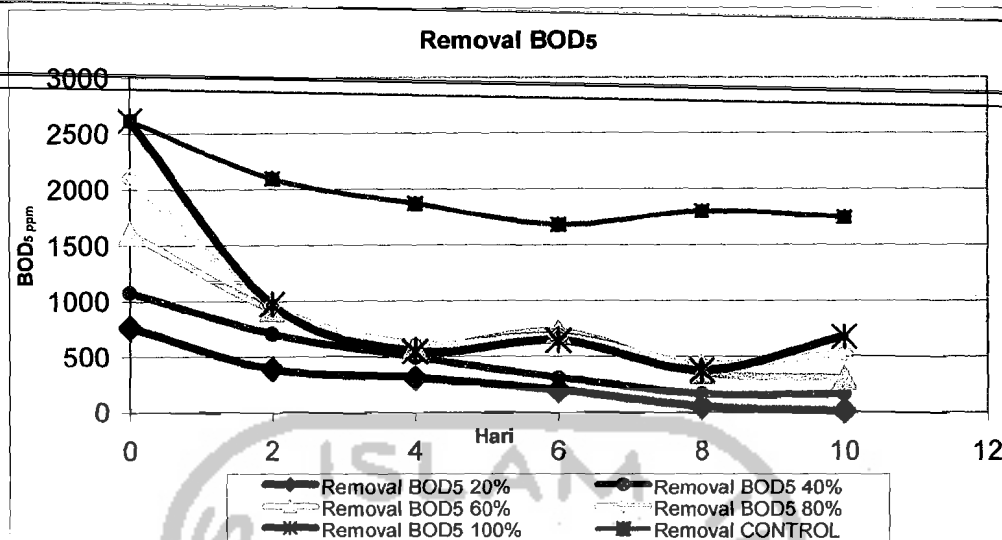
air limbah dan hasil dari analisa yang didapat dapat dilihat dalam pembahasan selanjutnya.

4.2.1 Penurunan Konsentrasi BOD₅

Hasil penelitian dari sistem pengolahan air limbah tapioka dengan sistem *wetlands* ini menunjukkan penurunan konsentrasi BOD₅ air limbah tapioka dengan menggunakan lima variasi perlakuan konsentrasi air limbah terhadap waktu tinggal air limbah di dalam reaktor. Berikut hasil analisa removal BOD₅ dan Grafik removal BOD₅

Tabel 4.12 Hasil Analisa Removal BOD₅

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)					
		0	2	4	6	8	10
20	Mg/L	762,5	387,94	309,4	196,16	53,43	15,71
40	Mg/L	1077	705,05	497,32	310,03	164,91	166,72
60	Mg/L	1609	926,53	591,28	720,60	361,78	307,66
80	Mg/L	2103	967,76	618,39	677,03	437,47	529,13
100	Mg/L	2618	972,58	549,97	643,25	378,78	680,14
Tanpa Tanaman	Mg/L	2618	2096	1873	1682,00	1802,00	1749,00



Grafik 4.1 Hubungan Konsentrasi BOD₅ Air Limbah Tapioka Terhadap Waktu

Berdasarkan dari tabel 4.4 analisa kualitas air limbah di atas setelah dilakukan pengolahan dengan sistem *Wetlands* menunjukkan penurunan BOD₅ mengalami perbedaan variasi removal berdasarkan tingkat konsentrasi air limbah tapioka yang digunakan, yaitu konsentrasi air limbah 100% sebesar 74,02% dengan konsentrasi awal (C₀) 2618 mg/L teremoval menjadi 680,14 mg/L, konsentrasi 80% sebesar 74,84% dengan konsentrasi awal (C₀) 2103 mg/L teremoval menjadi 529,13 mg/L, konsentrasi 60% sebesar 80,88% dengan konsentrasi awal (C₀) 1609 mg/L teremoval menjadi 307,66 mg/L, konsentrasi 40% sebesar 84,45% dengan konsentrasi awal (C₀) 1077 mg/L teremoval menjadi 166,72 mg/L, konsentrasi 20% sebesar 97,93% dengan konsentrasi awal (C₀) 762,5 mg/L teremoval menjadi 15,71 mg/L.

Proses penurunan konsentrasi air limbah tapioka ini dilakukan oleh adanya peranan dari media tanaman *Eceng Gondok* dan mikroorganismenya yang mengurai bahan pencemar dalam air limbah menjadi nutrisi untuk pertumbuhannya, selain

itu juga disebabkan adanya peranan media tanam dari reaktor yang menyerap (filtrasi) konsentrasi pencemar air limbah serta proses sedimentasi. Proses penurunan konsentrasi BOD₅ dalam reaktor juga karena adanya penyuplaian oksigen melalui proses fotosintesis oleh tanaman, dan mikroorganisme (biofilm) baik di permukaan air maupun di dalam air limbah dan tanaman, proses difusi media langsung ke tanah dalam reaktor serta proses reaerasi dari permukaan tanaman, proses translokasi oksigen menuju lapisan rhizosfer dan proses difusi langsung dari atmosfer yang berada di permukaan air limbah, hal ini juga dikemukakan dari hasil penelitian oleh Reed et, al. (1987) dan Merz, (2000) tentang penguraian dan suplai oksigen di dalam sistem pengolahan *wetlands*.

Peranan Eceng Gondok dalam menguraikan kandungan pencemar dalam air limbah salah satunya melalui proses transpirasi oleh tanaman. Transpirasi terbesar oleh tanaman dilakukan oleh daun Eceng Gondok karena daun berkontak langsung dengan penyinaran matahari. Kontak langsung ini mengakibatkan kehilangan air lebih besar terjadi pada daun tanaman dibandingkan bagian-bagian tanaman lainnya. Kegiatan transpirasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ukuran daun, bulu permukaan daun, jumlah stomata, suhu, radiasi, kelembaban, dan kondisi perairan.³⁸

Hasil dari proses-proses removal oleh tanaman Eceng Gondok dan mikroorganisme dalam reaktor akan menghasilkan oksigen. Oksigen tersebut akan dibutuhkan oleh tanaman dan mikroorganisme kembali untuk mendekomposisi atau menguraikan secara aerobik bahan organik karbon yang terdapat dalam air

³⁸ dwidjoseputro, 1992

limbah tapioka. Sedangkan untuk reaktor control (tidak terdapat tanaman) hanya terjadi proses difusi dan reaerasi pada permukaan air.

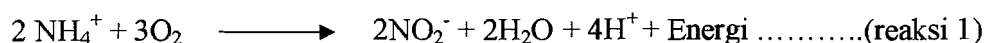
Dalam penelitian ini proses aerobik terbesar terjadi pada variasi waktu ke-2, 4, dan 6 hari karena pada hari tersebut belum terjadinya proses pembusukan pada air limbah, proses aerobik ini merupakan proses peremovalan bahan organik pada air limbah yang berlangsung cepat dan terjadi proses mineralisasi bahan organik secara sempurna yaitu terbentuknya senyawa CO_2 dan H_2O . Proses respirasi mikroorganisme memanfaatkan bahan organik dan karbondioksida ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) dan oksigen (O_2) yang menghasilkan karbondioksida, air dan energi. Hasil respirasi mikroorganisme ini akan dimanfaatkan oleh tanaman dan mikroba untuk melakukan proses fotosintesis dengan bantuan sinar matahari sebagai energi dan sebaliknya.

Proses removal kandungan pencemar air limbah tapioka mengalami penurunan pada variasi waktu ke 6, 8 dan 10 hal ini disebabkan karena terjadinya proses pembusukan pada permukaan air limbah. Proses ini mengakibatkan tumbuhnya mikroorganisme anaerobik pada reaktor, sehingga menurunkan kadar oksigen dalam air. Efek dari adanya mikroorganisme anaerobik ini berpengaruh pada pertumbuhan tanaman Eceng Gondok terutama bagian akar tanaman akibat suplai oksigen yang berkurang karena proses transformasi gas-gas dari dalam air limbah tidak beresikulasi dengan baik, selain itu proses pembusukan terbentuk akibat dari pengaruh adanya kandungan Sianida pada air limbah yang tinggi yang mengakibatkan kematian pada Eceng Gondok terutama pada akar tanaman dan mikroorganisme sehingga terjadi pembusukan pada air dan tanaman yang secara

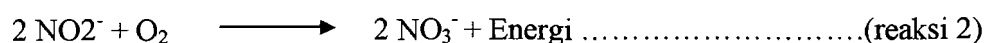
alami akan membentuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi dengan reaksi proses

pembusukannya sebagai berikut :

- Oksidasi ammonium menjadi nitrit peranan bakteri *Nitrosomonas* sp



- Oksidasi nitrit menjadi nitrat peranan bakteri *Nitrobacter* sp



Analisa laboratorium juga menunjukkan terjadi peningkatan BOD₅ dalam air limbah yaitu konsentrasasi limbah 60% terjadi peningkatan sebesar 21,87% pada hari ke 6, konsentrasi 80% terjadi peningkatan sebesar 9,48% dan 20,95% pada hari ke 6 dan ke 10, konsentrasi 100% terjadi peningkatan sebesar 16,96% dan 79,56% pada hari ke 6 dan ke 10, reaktor control terjadi peningkatan BOD₅ sebesar 7,13% pada hari ke 8. Selain efek dari adanya proses pembusukan dan pengaruh Sianida yang mengakibatkan matinya tanaman *Eceng Gondok* peningkatan BOD₅ juga disebabkan adanya pengaruh dari tumbuhnya alga dan mikroorganisme lain dalam reaktor³⁹. Alga dan mikroorganisme *cyanobacteria* terdapat dalam air tawar dan asin secara alami yang dikarenakan adanya nutrisi dan sinar matahari yang berada dalam air limbah sehingga terjadi asimilasi alga⁴⁰.

Peningkatan BOD₅ juga terjadi disebabkan adanya kontribusi dari siklus hidup dan matinya alga, bangkai daun tanaman dan akar yang jatuh pada reaktor. Matinya alga dan bakteri di dalam air akan meningkatkan jumlah karbon organik dalam reaktor. Apabila proses reaksi-reaksi penguraian dimulai lagi dalam reaktor maka akan dibutuhkan kadar oksigen yang tinggi untuk menguraikan bahan

³⁹ Scott, 2004

⁴⁰ Reed. Et., 1987

karbon organik tersebut dalam reaktor hal inilah yang menyebabkan peningkatan kadar BOD₅ karena menurunnya suplai kadar oksigen. Kondisi ini akan kembali normal dalam meremoval kadar BOD₅ apabila proses reaksi penguraian bahan organik kembali normal yaitu setelah beberapa hari dari terjadinya proses di atas di mana jumlah bahan organik dalam *wetlands* telah mencapai keseimbangan dengan jumlah kadar persediaan oksigen dalam reaktor⁴¹.

Matinya tanaman Eceng Gondok dalam reaktor mengakibatkan proses penguraian bahan organik dan anorganik dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme. Fenomena ini terlihat pada hari ke 6 sampai hari ke 10 dalam reaktor 60%, 80%, dan 100% di mana Eceng Gondok mengalami kematian tetapi proses penguraian konsentrasi BOD₅ berlangsung kembali. Kematian Eceng Gondok membawa dampak positif bagi pertumbuhan mikroba karena setiap komponen-komponen dari Eceng Gondok yang mati sebagai tempat untuk berkembangbiaknya mikroba (filamen) pengurai baru yang akan berperan penting dalam menurunkan kadar pencemar setelah tanaman Eceng Gondok mengalami fase kematian. Kondisi pertumbuhan mikroorganisme ini juga didukung dengan berkurangnya kadar Sianida yang terdapat dalam air limbah, akibat terlepasnya Sianida keudara sehingga pertumbuhan mikroba pada reaktor 60%, 80%, dan 100% mencapai puncaknya pada hari ke 6 dan selanjutnya proses penguraian bahan organik dan anorganik dalam air limbah tapioka dilakukan oleh mikroorganisme.

⁴¹ EPA, 2000

Proses penurunan konsentrasi BOD pada reaktor control tanpa tanaman lebih disebabkan oleh adanya peranan dari media tanam yang secara fisik mampu menurunkan pencemar BOD melalui proses filtrasi, sedimentasi dan aktivitas dari mikroorganisme dalam mentransformasikan bahan organik dan anorganik menjadi nutrien dan energi. Hal ini ditunjukkan pada hari ke 2 sampai hari ke 8 pencemar BOD mengalami proses penurunan, sedangkan pada hari ke 10 terjadi peningkatan konsentrasi BOD, hal ini disebabkan karena adanya siklus kematian oleh mikroorganisme.

Efisiensi removal tanaman Eceng Gondok dalam mengurai kandungan bahan-bahan organik dan anorganik dalam air limbah untuk menurunkan parameter pencemar BOD pada penelitian ini dapat dilihat dari adanya perbandingan antara reaktor konsentrasi limbah 100% dengan reaktor control tanpa tanaman sebagai berikut :

Tabel 4.13 Efisiensi Removal Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Waktu Pengambilan Sampel (Hari)				
		2	4	6	8	10
100% dengan Tanaman	%	62,85	78,99	75,43	85,53	74,02
100% Tanpa Tanaman	%	19,94	28,46	35,75	31,17	33,19
Efisiensi Tanaman	%	42,91	50,53	39,68	54,36	40,83

Berdasarkan tabel efisiensi removal tanaman di atas dapat terlihat bahwa proses penurunan BOD₅ selain disebabkan adanya aktivitas mikroorganisme juga

disebabkan adanya peranan Eceng Gondok yang mampu menurunkan parameter

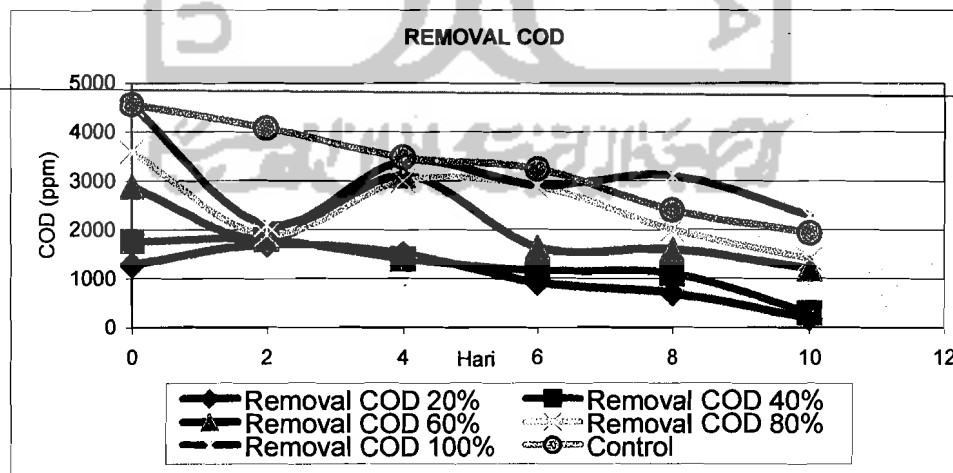
pencemar BOD₅ berkisar antara 40% - 54%.

4.2.2 Penurunan Konsentrasi COD

Proses penurunan kandungan pencemar COD dalam air limbah industri tapioka dengan menggunakan sistem pengolahan *constructed wetlands* yang menggunakan variasi waktu dan konsentrasi air limbah menunjukkan hasil analisa yang naik turun atau variatif. Berikut tabel dan grafik hasil analisa laboratorium terhadap penurunan kandungan pencemar COD air limbah industri tapioka.

Tabel 4.14 Hasil Analisa Removal COD

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)					
		2	4	6	8	10	
20	mg/L	1280	1700	1500	920	700	200
40	mg/L	1760	1800	1400	1160	1100	300
60	mg/L	2880	1800	3100	1640	1600	1200
80	mg/L	3600	1900	3000	2880	2000	1400
100	mg/L	4560	2100	3400	2920	3100	2300
Tanpa Tanaman	mg/L	4560	4080	3480	3000	3360	3057,5



Grafik 4.2 Hubungan Konsentrasi COD Air Limbah Tapioka Terhadap Waktu

Berdasarkan tabel 4.14 Hasil analisa laboratorium menunjukkan variasi penurunan COD berdasarkan tingkat konsentrasi air limbah dalam reaktor berbeda beda, yaitu penurunan COD untuk konsentrasi air limbah 20% berdasarkan waktu detensi, dari hari ke 0 sampai ke 10 sebesar 84,38% dengan konsentrasi awal (Co) 1280 mg/L menjadi 200 mg/L, konsentrasi air limbah 40% teremoval sebesar 82,95% dengan konsentrasi awal (Co) 1760 mg/L menjadi 300 mg/L, konsentrasi air limbah 60% teremoval sebesar 58,33% dengan konsentrasi awal (Co) 2880 mg/L menjadi 1200 mg/L, konsentrasi air limbah 80% teremoval sebesar 61,11% dengan konsentrasi awal (Co) 3600 mg/L menjadi 1400 mg/L, konsentrasi air limbah 100% teremoval sebesar 49,56% dengan konsentrasi awal (Co) 4560 mg/L menjadi 2300 mg/L, reaktor control tanpa tanaman teremoval sebesar 32,95% dengan konsentrasi awal (Co) 4560 mg/L menjadi 3057,5 mg/L.

Proses teremovalnya COD dalam pengolahan *constructed wetlands* ini juga berdasarkan jumlah kandungan oksigen yang terdapat dalam air limbah yang digunakan untuk mengurai bahan-bahan anorganik dan organik, dan kemampuan media tanaman dalam mengurai bahan-bahan organik air limbah serta mikroorganisme yang tumbuh dalam reaktor. Suplai oksigen dalam *wetlands* terjadi melalui adanya proses fotosintesis tanaman, alga, dan mikroorganisme (biofilm) yang terdapat di permukaan air maupun di dalam air limbah dan tanaman, proses difusi media langsung ke tanah dalam reaktor serta proses reaerasi dari permukaan tanaman, proses translokasi oksigen menuju lapisan rhizosfer dan proses difusi langsung dari atmosfer yang berada di permukaan air limbah, hal ini juga dikemukakan dari hasil penelitian oleh Reed et, al. (1987) dan

Merz, (2000) tentang penguraian dan suplai oksigen di dalam sistem pengolahan *wetlands*.

Penurunan COD dalam penelitian ini sangat bergantung dari proses penurunan BOD dalam reaktor yaitu peranan tanaman dan mikroorganisme untuk mengurai bahan-bahan organik air limbah. karena apabila BOD mengalami penurunan akan mempengaruhi proses penurunan COD juga dengan perbandingan antara BOD dan COD sebesar $1,5 - 2^{42}$. COD merupakan banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengurai bahan-bahan organik maupun anorganik. Dalam proses penguraian secara kimiawi ini suplai oksigen didapat dari adanya proses penguraian bahan-bahan organik, mikroorganisme dan tanaman dalam reaktor.

Penguraian senyawa-senyawa anorganik dalam air limbah tapioka ini banyak dilakukan oleh tanaman Eceng Gondok, karena Eceng Gondok sangat memerlukan mineral-mineral anorganik yang terkandung dalam air limbah tapioka untuk pertumbuhannya. Unsur-unsur yang tersedia dalam air limbah diserap oleh Eceng Gondok dalam bentuk kation dan anion, yang dilakukan oleh ujung-ujung akarnya. Penyerapan melalui ujung akar dan lapisan meristem Eceng Gondok terhadap air serta garam-garam mineral berlangsung dalam jumlah yang kecil.

Penyerapan terbesar terjadi pada bulu-bulu akar Eceng Gondok yang sangat banyak, sel kulit (kortek), sel epidermis, periskel dan pembuluh angkutnya. Transformasi penyerapan digerakkan oleh energi kinetis yang berasal dari gerakan molekul-molekul yang berada pada air limbah dalam reaktor yang berkonsentrasi lebih pekat atau *hipertonis*. Penyerapan bahan-bahan anorganik

oleh bulu-bulu akar Eceng Gondok yang muda lebih berpotensi tinggi dari pada bulu akar yang tua. Proses penyerapan bahan-bahan anorganik ini juga dipengaruhi oleh respirasi yang menghasilkan energi yang kemudian akan mempengaruhi jumlah ion yang terbawa masuk ke tanaman ⁴³

Peningkatan kembali kadar COD dalam penelitian ini terjadi pada hari ke 2 untuk konsentrasi air limbah 20% dan 40% yaitu sebesar 32,81% dengan konsentrasi awal (Co) 1280 mg/L menjadi 1700 mg/L dan sebesar 2,27% dengan konsentrasi awal (Co) 1760 mg/L menjadi 1800 mg/L, dan pada hari ke 4 untuk konsentrasi air limbah 60% sebesar 72,22% dengan konsentrasi awal (Co) 1800 mg/L menjadi 3100 mg/L, konsentrasi air limbah 80% sebesar 57,89% dengan konsentrasi awal (Co) 1900 mg/L menjadi 3000 mg/L, dan untuk konsentrasi air limbah 100% sebesar 61,90% dengan konsentrasi awal (Co) 2100 mg/L menjadi 3400 mg/L

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya peningkatan kadar COD dalam air limbah dapat disebabkan karena pengaruh asam Sianida dalam air limbah yang menghambat pertumbuhan Eceng Gondok, matinya beberapa tanaman Eceng Gondok sehingga proses-proses penyerapan bahan-bahan anorganik berkurang, semakin tingginya kandungan asam pada air limbah dalam reaktor akibat dampak dari matinya Eceng Gondok yang kemudian melepaskan asam oksalat.

Matinya tanaman Eceng Gondok akibat terserapnya Sianida dan tingginya konsentrasi pencemar air limbah dalam reaktor 60%, 80%, dan 100%

⁴³ Dwidjoseputro, 1992

mengakibatkan proses penguraian bahan organik dan anorganik dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme. Fenomena ini terlihat pada hari ke 4 sampai hari ke 10 dalam reaktor 60%, 80%, dan 100% di mana Eceng Gondok mengalami kematian tetapi proses penguraian konsentrasi COD tetap berlangsung kembali. Kematian Eceng Gondok membawa dampak positif bagi pertumbuhan mikroba karena setiap komponen-komponen dari Eceng Gondok yang mati sebagai tempat untuk berkembangbiaknya mikroba (filamen) pengurai baru yang akan berperan penting dalam menurunkan kadar pencemar setelah tanaman Eceng Gondok mengalami fase kematian. Titik puncak pertumbuhan mikroorganisme pada reaktor 60%, 80%, dan 100% terjadi pada hari ke 6 hal ini ditunjukkan bahwa proses penurunan konsentrasi COD terjadi kembali yang sepenuhnya dilakukan oleh aktivitas mikroorganisme yang mengurai kandungan bahan organik maupun anorganik menjadi nutrisi maupun energi bagi pertumbuhannya, sedangkan untuk konsentrasi 20% dan 40% penurunan kadar COD akibat adanya peranan antara mikroorganisme dan Eceng Gondok yang masih hidup dalam reaktor. Bertahannya pertumbuhan Eceng Gondok dalam reaktor 20% dan 40% ini dipengaruhi oleh menurunnya kandungan Sianida dalam air limbah

Proses penurunan COD pada reaktor control tanpa tanaman lebih disebabkan oleh adanya peranan dari media tanam yang secara fisik mampu menurunkan pencemar COD melalui proses filtrasi dan aktivitas dari mikroorganisme dalam mentransformasikan bahan organik dan anorganik menjadi nutrisi dan energi. Hal ini ditunjukkan pada hari ke 2 sampai hari ke 8 COD

mengalami proses penurunan, sedangkan pada hari ke 10 terjadi peningkatan konsentrasi COD, hal ini disebabkan karena adanya siklus matinya mikroba.

Efisiensi removal tanaman Eceng Gondok dalam mengurai kandungan bahan-bahan organik dan anorganik dalam air limbah untuk menurunkan parameter pencemar COD pada penelitian ini dapat dilihat dari adanya perbandingan antara reaktor konsentrasi limbah 100% dengan reaktor control tanpa tanaman sebagai berikut :

Tabel 4.15 Efisiensi Removal Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Waktu Pengambilan Sampel (Hari)				
		2	4	6	8	10
100% dengan Tanaman	%	53,95	61,90*	35,96	32,02	49,56
100% Tanpa Tanaman	%	10,53	14,71	34,21	26,32	32,95
Efisiensi Tanaman	%	43,42	47,19*	1,75	5,7	16,61

Keterangan : * Terjadi Peningkatan kadar COD

Berdasarkan tabel efisiensi removal tanaman di atas dapat terlihat bahwa proses penurunan COD selain disebabkan adanya aktivitas mikroorganisme juga disebabkan adanya peranan Eceng Gondok yang mampu menurunkan parameter pencemar COD sebesar 43,42%.

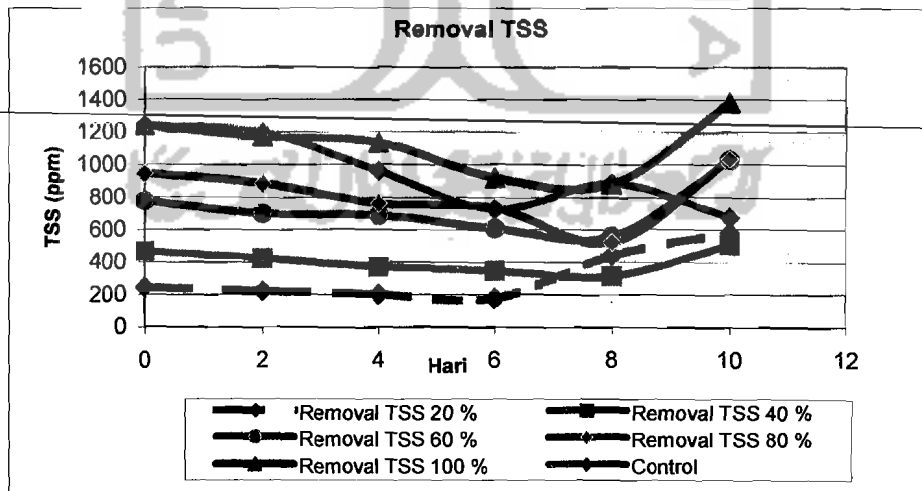
4.2.3 Penurunan Konsentrasi TSS

Proses penurunan kandungan partikel-partikel *solids* dalam air limbah yang diolah dengan menggunakan sistem pengolahan *natural treatment*

constructed wetlands ini terjadi dikarenakan adanya proses flokulasi, sedimentasi dan proses filtrasi, intersepsi serta proses *absorbent* dalam reaktor. Hasil analisa laboratorium dalam penelitian ini, di mana dilakukan pengolahan air limbah industri tapioka dengan memanfaatkan tanaman Eceng Gondok dengan melakukan variasi konsentrasi air limbah dan variasi waktu menunjukkan hasil yang baik secara umum proses penurunan selalu terjadi pada tiap-tiap variasi yang dilakukan. Berikut tabel dan grafik hasil analisa laboratorium terhadap variasi waktu dan konsentrasi air limbah.

Tabel 4.16 Hasil Analisa Removal TSS

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Waktu Pengambilan (hari)					
		0	2	4	6	8	10
20	Mg/L	248	224	204	180	444	584
40	Mg/L	466	424	372	348	316	508
60	Mg/L	777	696	688	608	560	1028
80	Mg/L	945	884	760	732	524	1036
100	Mg/L	1243	1172	1136	920	880	1380
Tanpa Tanaman	Mg/L	1243	1196	960	724	884	676



Grafik 4.3 Hubungan Konsentrasi TSS Air Limbah Tapioka Terhadap Waktu

Berdasarkan gambar 4.5 di atas menunjukkan bahwa hasil removal oleh sistem pengolahan *wetlands* ini menunjukkan hasil yang *varianif*. Proses penurunan hanya terjadi pada variasi waktu hari ke 2, 4, dan 6 kemudian meningkat kembali pada hari ke 8, dan 10. Tingkat removal TSS dari hari ke 2 sampai dengan hari ke 6 terjadi proses removal yaitu konsentrasi 20% sebesar 27,42%, konsentrasi 40% dari hari ke 2 sampai ke 8 sebesar 32,19%, konsentrasi 60% dari hari ke 2 sampai ke 8 sebesar 27,93%, konsentrasi 80% dari hari ke 2 sampai ke 8 sebesar 44,55%, konsentrasi 100% dari hari ke 2 sampai ke 8 sebesar 29,20%, konsentrasi limbah control dari hari ke 2 sampai ke 10 sebesar 45,62%.

Proses removal partikel-partikel *solids* (TSS) dalam penelitian ini terjadi akibat adanya peranan media tanaman, media tanah, serta mikroorganisme dalam reaktor *constructed wetlands*. Proses-proses yang terjadi akibat dari adanya media tanah dalam *constructed wetlands* adalah proses-proses fisik antara lain proses sedimentasi, agregasi, filtrasi dan intersepsi, sedangkan peranan media tanaman dalam hal ini Eceng Gondok yaitu sebagai tempat terjadinya proses *absorben* partikel-partikel organik terlarut yang dimanfaatkan untuk proses asimilasi atau proses fotosintesis dan nutrisi oleh tanaman, sedangkan peranan mikroorganisme dalam *wetlands* ini yaitu mampu menguraikan partikel-partikel organik dalam air limbah tapioka sebagai bahan nutrisi untuk pertumbuhannya⁴⁴.

Penurunan kadar TSS juga dapat disebabkan karena padatan atau partikel-partikel *solids* dalam sistem pengolahan *wetlands* membentuk gumpalan-gumpalan partikel yang lebih besar (flok) atau disebut dengan proses flokulasi

⁴⁴ Cappuccino Sherman, 2001

yang kemudian mengendap di atas permukaan tanah (proses sedimentasi)⁴⁵.

proses terbentuknya flok partikel dalam penelitian ini terjadi akibat penumpukan partikel-partikel *solids* dari limbah tapioka di akar tanaman, Eceng Gondok memiliki daya serap yang tinggi sehingga seluruh substansi partikel-partikel yang ada dalam air limbah terserap oleh akar tanaman seperti layaknya spons yang menyerap suatu cairan beserta zat yang terlarut di dalam air limbah tanpa terseleksi. Sisa-sisa partikel yang tidak diserap oleh akar tanaman inilah yang membentuk flok kemudian mengendap di permukaan tanah.

Proses penguraian parameter TSS dalam reaktor mulai mengalami penurunan dikarenakan kondisi pertumbuhan dan daya tahan tanaman Eceng Gondok yang semakin menurun, hal ini ditunjukkan pada reaktor 60%, 80%, dan 100% pada hari ke 4 sampai hari ke 10 Eceng Gondok mengalami fase kematian. Faktor utama yang menyebabkan matinya Eceng Gondok karena disebabkan tingginya Sianida yang terserap oleh tanaman dan tingginya konsentrasi pencemar lainnya. Timbulnya kondisi ini proses penguraian parameter pencemar lebih dilakukan akibat adanya peranan dari mikroorganisme yang mengalami pertumbuhan yang tinggi karena adanya bantuan dari komponen-komponen tanaman yang mati dan membusuk sebagai tempat pertumbuhan bakteri, hal ini ditunjukkan pada reaktor tersebut pada hari ke 4 sampai ke 8 tetap terjadi penurunan kandungan pencemar TSS.

Proses penurunan parameter TSS terlihat stabil terjadi pada reaktor control tanpa tanaman Eceng Gondok karena proses penurunan TSS terjadi secara fisik

⁴⁵ Merz, 2000

dilakukan oleh adanya media tanah dan biologis yang dilakukan oleh mikroorganisme yang tumbuh dalam reaktor. Peningkatan kembali kadar TSS dalam reaktor ini lebih disebabkan karena adanya siklus kematian mikroba hal ini ditunjukkan pada hari ke 10 dengan kondisi air dalam reaktor mengalami proses pembusukan.

Proses removal TSS mengalami penurunan atau peningkatan kembali kadar TSS dalam air limbah disebabkan karena terbentuknya proses pembusukan pada permukaan air dan matinya tanaman dalam reaktor. Hal ini ditunjukkan terjadinya peningkatan kadar TSS pada hari ke 8 dan ke 10 untuk setiap variasi konsentrasi air limbah dalam reaktor. Peningkatan TSS pada konsentrasi 20% sebesar 79,03% dan 135,5%, konsentrasi 40% sebesar 9,03%, konsentrasi 60% sebesar 32,30%, konsentrasi 80% sebesar 9,63%, konsentrasi 100% sebesar 11,02%. Peningkatan kadar TSS ini karena terbentuknya proses pembusukan, yang mana proses ini menimbulkan lapisan filamen di permukaan air limbah sehingga menyebabkan timbulnya mikroorganisme anaerobik dan mikroba lain, dampak adanya mikroorganisme ini adalah menurunnya kadar oksigen sehingga bahan-bahan organik dalam air limbah tidak dapat teruraikan, selain itu berpengaruh juga terhadap pertumbuhan tanaman Eceng Gondok. Faktor lain yang menyebabkan peningkatan kadar TSS adalah matinya tanaman Eceng Gondok yang disebabkan oleh adanya kandungan racun Sianida dan tingginya konsentrasi pencemar pada air limbah hal ini ditunjukkan pada reaktor 60%, 80%, dan 100% yang hampir keseluruhan dari Eceng Gondok mengalami kematian dan pengaruh dari terbentuknya proses pembusukan yang membuat akar tanaman Eceng

Gondok mati. Matinya Eceng Gondok ini membuat akar tanaman mengeluarkan kembali bahan-bahan yang diserapnya dan terlepasnya partikel-partikel yang menempel di akar Eceng Gondok sehingga meningkatkan kembali partikel-partikel dalam reaktor, sedangkan untuk reaktor 20% dan 40% pada hari ke 8 dan hari ke 10 mengalami peningkatan konsentrasi TSS lebih disebabkan karena timbulnya alga dan mikroorganisme lain yang mengalami siklus hidup dan mati.

Tumbuhnya alga di dinding-dinding reaktor penelitian dan bahan-bahan organik seperti zooplankton, bakteri, dan pengurai, bahan anorganik seperti *silt*, *clay* dan lain-lain, yang memberikan efek kekeruhan pada air.⁴⁶ Pertumbuhan alga dikarenakan adanya sinar matahari yang masuk kedalam air limbah, tersedianya nutrisi dan oksigen, temperatur yang panas dingin, hal ini didukung juga dengan kondisi musim hujan pada saat penelitian ini dilakukan.⁴⁷

Proses penurunan TSS pada reaktor control disebabkan adanya peranan dari tanah melalui proses sedimentasi serta aktivitas dari mikroba dalam mengubah bahan organik dan anorganik menjadi nutrisi dan energi. Hal ini ditunjukkan pada hari ke 2 sampai hari ke 8 TSS mengalami penurunan, sedangkan pada hari ke 10 terjadi peningkatan konsentrasi TSS, karena adanya siklus matinya mikroba.

Efisiensi removal tanaman Eceng Gondok dalam menurunkan parameter TSS dalam penelitian ini kurang efektif hal ini dikarenakan tanaman Eceng Gondok mengalami penurunan dalam pertumbuhannya dan mengalami fase

⁴⁶ Kywater. org

⁴⁷ Jack and Lamar, 1999

kematian dari hari ke 4 sampai hari ke 10 sehingga penurunan konsentrasi TSS

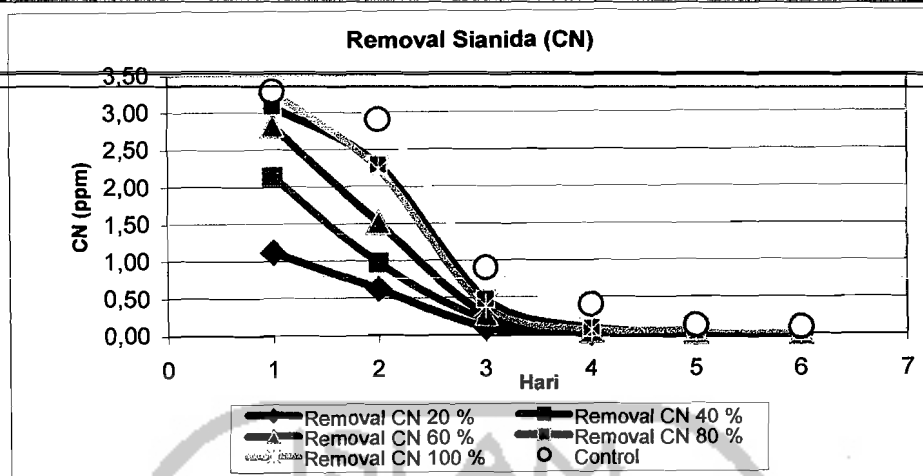
akibat adanya media tanah dan mikroba.

4.2.4 Penurunan Konsentrasi Sianida

Berdasarkan hasil uji laboratorium menunjukkan hasil removal Sianida dalam sistem pengolahan *constructed wetlands* terjadi sangat efektif dengan rata-rata penurunan sebesar 98,99%. Berikut tabel dan grafik hasil uji laboratorium berdasarkan variasi konsentrasi dan waktu tinggal air limbah dalam reaktor.

Tabel 4.17 Hasil Analisa Removal Sianida (CN)

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (hari)					
		0	2	4	6	8	10
20	mg/L	1,12	0,63	0,10	0,02	0,002	0,002
40	mg/L	2,14	0,98	0,21	0,03	0,007	0,004
60	mg/L	2,83	1,52	0,28	0,05	0,024	0,006
80	mg/L	3,09	2,30	0,49	0,09	0,033	0,021
100	mg/L	3,29	2,24	0,39	0,07	0,052	0,030
Tanpa Tanaman	mg/L	3,29	2,91	0,90	0,41	0,122	0,095



Grafik 4.4 Hubungan Konsentrasi Sianida Air Limbah Tapioka Terhadap Waktu

Constructed wetlands sangat efektif untuk dapat menurunkan konsentrasi Sianida (CN) dalam air limbah tapioka, karena proses evaporasi sangat efektif terjadi dengan konstrukstur desain reaktor terbuka. Berdasarkan tabel dan grafik removal Sianida di atas setiap reaktor air limbah tapioka mengalami penurunan yang baik, reaktor konsentrasi limbah 20% dengan variasi waktu detensi dari hari ke-2 sampai ke-10 meremoval Sianida sebesar 99,87% dengan konsentrasi Sianida awal (Co) 1,12 mg/L menjadi 0,002 mg/L, reaktor dengan konsentrasi limbah 40% mampu meremoval Sianida sebesar 99,84% dengan konsentrasi Sianida awal (Co) 2,14 mg/L menjadi 0,004 mg/L, reaktor dengan konsentrasi limbah 60% mampu meremoval Sianida sebesar 99,81% dengan konsentrasi Sianida awal (Co) 2,83 mg/L menjadi 0,006 mg/L, reaktor dengan konsentrasi limbah 80% mampu meremoval Sianida sebesar 99,34% dengan konsentrasi Sianida awal (Co) 3,09 mg/L menjadi 0,021 mg/L, reaktor dengan konsentrasi limbah 100% mampu meremoval Sianida sebesar 99,09% dengan konsentrasi Sianida awal (Co) 3,29 mg/L menjadi 0,03 mg/L, reaktor control tanpa tanaman

mampu meremoval Sianida sebesar 97,13% dengan konsentrasi Sianida awal (Co)

3,29 mg/L menjadi 0,095 mg/L.

Proses penurunan Sianida lebih besar terjadi secara alami karena didasarkan sifat Sianida yang mudah menguap dengan bantuan sinar matahari akan semakin mudah senyawa Sianida ini untuk berubah menjadi gas. Proses degradasi dengan oksidasi juga menurunkan kadar Sianida dalam kondisi alkali yang mana proses degradasi oksidasi ini terjadi dengan adanya oksigen dalam air limbah kemudian terurai menjadi gas yang akan lepas ke atmosfer berikut reaksi oksidasi yang terjadi dalam reaktor air limbah :



(e = elektron (g) = gas)

Proses removal Sianida dalam reaktor ini, juga dilakukan oleh tanaman Eceng Gondok dan mikroorganisme yang terdapat dalam air limbah yaitu memanfaatkan kandungan Sianida bebas dalam air limbah yang berupa garam-garam mineral seperti *Sodium cyanides*, *Potassium cyanides*, *Calcium cyanides* dan *Ammonium Cyanides* untuk pertumbuhannya. Berdasarkan hasil pengamatan untuk reaktor dengan tingkat konsentrasi air limbah 60%, 80%, dan 100% selama variasi waktu yang ditentukan pertumbuhan Eceng Gondok mengalami kematian yang diakibatkan pengaruh tingginya konsentrasi pencemar dan Sianida yang terserap oleh akar, sedangkan hasil analisa menunjukkan removal Sianida terus

berlangsung hal ini menunjukkan bahwa proses removal Sianida dalam *constructed wetlands* terjadi akibat adanya pengaruh sinar matahari yang dapat menguapkan (evaporasi) Sianida dalam air limbah.

Kondisi reaktor 20% dan 40% tanaman Eceng Gondok relatif tumbuh dengan baik dari hari ke 4 sampai hari ke 10 hal ini dikarenakan kandungan Sianida dalam reaktor ini sudah mengalami penurunan sehingga proses penurunan kandungan pencemar pada reaktor ini dilakukan oleh peranan mikroorganisme dan tanaman Eceng Gondok. Efisiensi removal tanaman Eceng Gondok dalam menurunkan parameter Sianida adalah: 20,4% pada hari ke 2, 15,52% untuk hari ke 4, 10,19% untuk hari ke 6, 2,13% untuk hari ke 8 dan 1,96% untuk hari ke 10

Efisiensi removal tanaman Eceng Gondok dalam menurunkan parameter pencemar Sianida pada penelitian ini dapat dilihat dari adanya perbandingan antara reaktor konsentrasi limbah 100% dengan reaktor control tanpa tanaman sebagai berikut :

Tabel 4.18 Efisiensi Removal Tanaman Eceng Gondok

Konsentrasi Air Limbah	Satuan	Waktu Pengambilan Sampel (Hari)				
		2	4	6	8	10
100% dengan Tanaman	%	32,08	88,04	97,87	98,44	99,09
100% Tanpa Tanaman	%	11,68	72,52	87,68	96,31	97,13
Efisiensi Tanaman	%	20,40	0,36	10,19	2,13	1,96

Berdasarkan tabel efisiensi removal tanaman di atas dapat terlihat bahwa proses penurunan Sianida selain disebabkan adanya proses penguapan dan aktivitas mikroorganisme juga disebabkan adanya peranan Eceng Gondok yang mampu menurunkan parameter pencemar Sianida sebesar 20,40%

4.3 Uji Statistik Parameter – parameter Pencemar

Uji statistik ANOVA bertujuan untuk mengetahui atau menguji berlaku atau tidaknya asumsi uji statistik ANOVA terhadap sampel dari parameter-parameter penelitian yang berasal dari nilai varian yang sama berdasarkan tingkat probabilitas diterima $< 0,05 >$ ditolak⁴⁸. Tujuan dilakukannya uji statistik terhadap kadar parameter yang diteliti dalam penelitian ini adalah untuk memperkuat ketepatan hasil perhitungan analisa laboratorium yang di dapat. Berikut hasil uji statistik ANOVA terhadap parameter penelitian :

4.3.1 Uji Statistik Parameter BOD₅

Hasil analisa BOD₅ terhadap variasi konsentrasi limbah dan waktu pengambilan limbah adalah

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)					
		0	2	4	6	8	10
20	Mg/L	762,5	387,94	309,4	196,16	53,43	15,71
40	Mg/L	1077	705,05	497,32	310,03	164,91	166,72
60	Mg/L	1609	926,53	591,28	720,60	361,78	307,66
80	Mg/L	2103	967,76	618,39	677,03	437,47	529,13
100	Mg/L	2618	972,58	549,97	643,25	378,78	680,14
Tanpa Tanaman	Mg/L	2618	2096	1873	1682,00	1802,00	1749,00

⁴⁸ Santoso, 2003

Untuk mengetahui pengaruh dari berbagai variasi konsentrasi air limbah dan waktu pengambilan sampel limbah terhadap kadar penurunan parameter BOD₅ maka dilakukan uji statistik dengan analisa varian dua arah sebagai berikut

Tabel 4.15 Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Variasi Waktu Pengambilan Terhadap Penurunan Kadar BOD₅

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BOD

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8237236.094 ^a	9	915248.455	14.832	.000
Intercept	13788513,2	1	13788513,19	223.455	.000
WAKTU	6278019.665	5	1255603.933	20.348	.000
KONST	1959216.429	4	489804.107	7.938	.001
Error	1234119.833	20	61705.992		
Total	23259869,1	30			
Corrected Total	9471355.927	29			

a. R Squared = .870 (Adjusted R Squared = .811)

Berdasarkan hasil uji statistik analisa varian dua arah di atas maka didapatkan :

- a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 7,938 dengan probabilitas $0,001 < 0,05$ yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar BOD₅ diantara variasi konsentrasi air limbah.
- b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 20,348 dengan probabilitas $0,000 < 0,05$ yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar BOD₅ diantara variasi pengambilan air limbah.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dan waktu pengambilan air limbah yang bermakna terhadap kadar removal BOD₅ maka dilanjutkan dengan uji statistik Tukey dan Bonferroni yaitu sebagai berikut :

a. Menentukan variasi konsentrasi air limbah yang bermakna

Tabel 4.16 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar BOD₅

Hasil Analisa Uji Tukey					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	Ns	s	s	s
40%	ns	-	ns	ns	s
60%	s	Ns	-	ns	ns
80%	s	Ns	ns	-	ns
100%	s	S	ns	ns	-

s = signifikan ns = non signifikan

Tabel 4.17 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar BOD₅

Hasil Analisa Uji Bonferroni					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	s	s	s
40%	ns	-	ns	ns	s
60%	s	ns	-	ns	ns
80%	s	ns	ns	-	ns
100%	s	s	ns	ns	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang tidak bermakna pada konsentrasi air limbah 20% terhadap 40% sedangkan pada konsentrasi limbah 20% terhadap 60%, 80% dan 100% terdapat perbedaan yang bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi air limbah yang tidak ada perbedaan secara bermakna, maka dapat digunakan nilai *homogeneous subsets* sebagai berikut :

Tabel 4.18 Nilai *Homogeneous Subsets* Konsentrasi Air Limbah Terhadap BOD₅

		BOD			
KONST	N	Subset			
		1	2	3	
Tukey HSD ^{a, b}					
konst limbah 20%	6	287.5233			
konst limbah 40%	6	486.8383	486.8383		
konst limbah 60%	6		752.8083	752.8083	
konst limbah 80%	6		888.7967	888.7967	
konst limbah 100%	6			973.7867	
Sig.		.641	.073	.550	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 61705.992.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

pada subset 1 terlihat bahwa konsentrasi air limbah 20% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 40%, subset 2 menunjukkan bahwa konsentrasi air limbah 40%, 60%, 80% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna. Sedangkan pada subset ke 3 untuk konsentrasi air limbah 60%, 80%, 100% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna.

b. Menentukan variasi waktu air limbah yang bermakna

Tabel 4.19 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar BOD₅

Hasil Uji Tukey						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	s	s	s	s	s
2	s	-	ns	ns	s	ns
4	s	ns	-	ns	ns	ns
6	s	ns	ns	-	ns	ns
8	s	s	ns	ns	-	ns
10	s	s	ns	ns	ns	-

Tabel 4.20 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar BOD₅

Hasil Uji Bonferroni						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	s	s	s	s	s
2	s	-	ns	ns	ns	ns
4	s	ns	-	ns	ns	ns
6	s	ns	ns	-	ns	ns
8	s	ns	ns	ns	-	ns
10	s	ns	ns	ns	ns	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna pada waktu pengambilan air limbah hari ke 0 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 2, 4, 6, 8, 10 sedangkan pada waktu pengambilan air limbah pada hari ke 2

terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 4, 6, 8 dan 10 terdapat perbedaan yang tidak bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

4.3.2 Uji Statistik Parameter COD

Hasil analisa COD terhadap variasi konsentrasi limbah dan waktu pengambilan limbah adalah

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (Hari)					
		2	4	6	8	10	
20	mg/L	1280	1700	1500	920	700	200
40	mg/L	1760	1800	1400	1160	1100	300
60	mg/L	2880	1800	3100	1640	1600	1200
80	mg/L	3600	1900	3000	2880	2000	1400
100	mg/L	4560	2100	3400	2920	3100	2300
Tanpa Tanaman	mg/L	4560	4080	3480	3000	3360	3057,5

Untuk mengetahui pengaruh dari berbagai variasi konsentrasi air limbah dan waktu pengambilan sampel limbah terhadap kadar penurunan parameter COD maka dilakukan uji statistik dengan analisa varian dua arah sebagai berikut

Tabel 4.21 Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Variasi Waktu

Pengambilan Terhadap Penurunan Kadar COD

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: COD

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	26104960.0 ^a	9	2900551.111	14.430	.000
Intercept	116821333	1	116821333.3	581.185	.000
WAKTU	286026.667	5	1857205.333	9.240	.000
KONST	16818933.3	4	4204733.333	20.919	.000
Error	202106.667	20	201005.333		
Total	146946400	30			
Corrected Total	30125066.7	29			

a. R Squared = .867 (Adjusted R Squared = .807)

Berdasarkan hasil uji statistik analisa varian dua arah di atas maka didapatkan :

- a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 20,919 dengan probalitas $0,000 < 0,05$ yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar COD diantara variasi konsentrasi air limbah.
- b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 9,240 dengan probalitas $0,000 < 0,05$ yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar COD diantara variasi pengambilan air limbah.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dan waktu pengambilan air limbah yang bermakna terhadap kadar COD maka dilanjutkan dengan uji statistik Tukey dan Bonferroni.

a. Menentukan variasi konsentrasi air limbah yang bermakna

Tabel 4.22 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar

COD

Hasil Analisa Uji Tukey					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	s	s	s
40%	ns	-	s	s	s
60%	s	s	-	ns	s
80%	s	s	ns	-	ns
100%	s	s	s	ns	-

s = signifikan ns = non signifikan

Tabel 4.23 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap

Kadar BOD₅

Hasil Analisa Uji Bonferroni					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	s	s	s
40%	ns	-	ns	s	s
60%	s	ns	-	ns	s
80%	s	s	ns	-	ns
100%	s	s	s	ns	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang tidak bermakna pada konsentrasi air limbah 20% terhadap 40% sedangkan pada konsentrasi limbah 20% terhadap 60%, 80% dan 100% terdapat perbedaan yang bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi air limbah yang tidak ada perbedaan secara bermakna, maka dapat digunakan nilai *homogeneous subsets* sebagai berikut :

Tabel 4.24 Nilai *Homogeneous Subsets* Konsentrasi Air Limbah Terhadap COD

		COD			
KONST		N	Subset		
			1	2	3
Tukey HSD ^{a, c}	konst limbah 20%	6	1050.0000		
	konst limbah 40%	6	1253.3333		
	konst limbah 60%	6		2036.6667	
	konst limbah 80%	6		2463.3333	2463.3333
	konst limbah 100%	6			3063.3333
	Sig.		.932	.486	.180

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 201005.333.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

pada subset 1 terlihat bahwa konsentrasi air limbah 20% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 40%, subset 2 menunjukkan bahwa konsentrasi air limbah 60% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 80%, subset 3 menunjukkan bahwa konsentrasi air limbah 80% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 100%.

b. Menentukan variasi waktu air limbah yang bermakna

Tabel 4.25 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar COD

Hasil Uji Tukey						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	s	ns	s	s	s
2	s	-	ns	ns	ns	ns
4	ns	ns	-	ns	ns	s
6	s	ns	ns	-	ns	ns
8	s	ns	ns	ns	-	ns
10	s	ns	s	ns	ns	-

Tabel 4.26 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar COD

Hasil Uji Bonferroni						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	s	ns	ns	s	s
2	s	-	ns	ns	ns	ns
4	ns	ns	-	ns	ns	s
6	ns	ns	ns	-	ns	ns
8	s	ns	ns	ns	-	ns
10	s	ns	s	ns	ns	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna pada waktu pengambilan air limbah hari ke 0 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 2, 6, 8, 10 sedangkan pada waktu pengambilan air limbah pada hari ke 0 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 4 terdapat perbedaan yang tidak bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

4.3.3 Uji Statistik Parameter TSS

Hasil analisa TSS terhadap variasi konsentrasi limbah dan waktu pengambilan limbah adalah

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Waktu Pengambilan (hari)					
		0	2	4	6	8	10
20	mg/L	248	224	204	180	444	584
40	mg/L	466	424	372	348	316	508
60	mg/L	777	696	688	608	560	1028
80	mg/L	945	884	760	732	524	1036
100	mg/L	1243	1172	1136	920	880	1380
Tanpa Tanaman	mg/L	1243	1196	960	724	884	676

Untuk mengetahui pengaruh dari berbagai variasi konsentrasi air limbah dan waktu pengambilan sampel limbah terhadap kadar penurunan parameter TSS maka dilakukan uji statistik dengan analisa varian dua arah sebagai berikut :

Tabel 4.27 Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Variasi Waktu Pengambilan Terhadap Penurunan Kadar TSS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TSS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2996950.633 ^a	9	332994.515	34.298	.000
Intercept	13718745.6	1	13718745.63	1413.031	.000
WAKTU	451065.767	5	90213.153	9.292	.000
KONST	2545884.867	4	636471.217	65.557	.000
Error	194174.733	20	9708.737		
Total	16909871.0	30			
Corrected Total	3191125.367	29			

a. R Squared = .939 (Adjusted R Squared = .912)

Berdasarkan hasil uji statistik analisa varian dua arah di atas maka

didapatkan :

- a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 65,557 dengan probabilitas $0,000 < 0,05$ yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar TSS diantara variasi konsentrasi air limbah.
- b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 9,292 dengan probabilitas $0,000 < 0,05$ yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar TSS diantara variasi pengambilan air limbah.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dan waktu pengambilan air limbah yang bermakna terhadap kadar TSS maka dilanjutkan dengan uji statistik Tukey dan Bonferroni.

- a. Menentukan variasi konsentrasi air limbah yang bermakna

Tabel 4.28 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar TSS

Hasil Analisa Uji Tukey					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	s	s	s
40%	ns	-	s	s	s
60%	s	s	-	ns	s
80%	s	s	ns	-	s
100%	s	s	s	s	-

s = signifikan ns = non signifikan

Tabel 4.29 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap

Kadar TSS

Hasil Analisa Uji Bonferroni					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	s	s	s
40%	ns	-	s	s	s
60%	s	s	-	ns	s
80%	s	s	ns	-	s
100%	s	s	s	s	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang tidak bermakna pada konsentrasi air limbah 20% terhadap 40% sedangkan pada konsentrasi limbah 20% terhadap 60%, 80% dan 100% terdapat perbedaan yang bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi air limbah yang tidak ada perbedaan secara bermakna, maka dapat digunakan nilai *homogeneous subsets* sebagai berikut :

Tabel 4.30 Nilai *Homogeneous Subsets* Konsentrasi Air Limbah Terhadap TSS

		TSS			
KONST	N	Subset			
		1	2	3	
Tukey HSD ^{a,b} konst limbah 20%	6	314.0000			
konst limbah 40%	6	405.6667			
konst limbah 60%	6		726.1667		
konst limbah 80%	6		813.5000		
konst limbah 100%	6			1121.8333	
Sig.		.508	.553	1.000	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 9708.737.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

pada subset 1 terlihat bahwa konsentrasi air limbah 20% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 40%, subset 2 menunjukkan bahwa konsentrasi air limbah 60% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 80%, subset 3 menunjukkan bahwa konsentrasi air limbah 100% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna.

b. Menentukan variasi waktu air limbah yang bermakna

Tabel 4.31 Hasil Uji Tukey Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar TSS

Hasil Uji Tukey						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	ns	ns	ns	ns	ns
2	ns	-	ns	ns	ns	s
4	ns	ns	-	ns	ns	s
6	ns	ns	ns	-	ns	s
8	ns	ns	ns	ns	-	s
10	ns	s	s	s	s	-

Tabel 4.32 Hasil Uji Bonferroni Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar TSS

Hasil Uji Bonferroni						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	ns	ns	ns	ns	ns
2	ns	-	ns	ns	ns	s
4	ns	ns	-	ns	ns	s
6	ns	ns	ns	-	ns	s
8	ns	ns	ns	ns	-	s
10	ns	s	s	s	s	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna pada waktu pengambilan air limbah hari ke 0 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 2, 4, 6, 8, 10 sedangkan pada waktu pengambilan air limbah pada hari ke 2 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 0 terdapat perbedaan yang tidak bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

4.3.4 Uji Statistik Parameter Sianida (CN)

Hasil analisa Sianida terhadap variasi konsentrasi limbah dan waktu pengambilan limbah adalah

Konsentrasi Air Limbah (%)	Satuan	Variasi Pengambilan Sampel (hari)					
		0	2	4	6	8	10
20	mg/L	1,12	0,63	0,10	0,02	0,002	0,002
40	mg/L	2,14	0,98	0,21	0,03	0,007	0,004
60	mg/L	2,83	1,52	0,28	0,05	0,024	0,006
80	mg/L	3,09	2,30	0,49	0,09	0,033	0,021
100	mg/L	3,29	2,24	0,39	0,07	0,052	0,030
Tanpa Tanaman	mg/L	3,29	2,91	0,90	0,41	0,122	0,095

Untuk mengetahui pengaruh dari berbagai variasi konsentrasi air limbah dan waktu pengambilan sampel limbah terhadap kadar penurunan parameter TSS maka dilakukan uji statistik dengan analisa varian dua arah sebagai berikut :

Tabel 4.33 Pengaruh Variasi Konsentrasi Air Limbah dan Variasi Waktu Pengambilan Terhadap Penurunan Kadar Sianida

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SIANIDA

Source	Type II Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	29.268 ^a	9	3.252	19.944	.000
Intercept	16.208	1	16.208	99.402	.000
WAKTU	27.107	5	5.421	33.249	.000
KONST	2.161	4	.540	3.314	.031
Error	3.261	20	.163		
Total	48.738	30			
Corrected Total	32.529	29			

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

Berdasarkan hasil uji statistik analisa varian dua arah di atas maka didapatkan :

- a. Nilai F hitung untuk konsentrasi limbah sebesar 3,314 dengan probalitas $0,031 < 0,05$ yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Sianida diantara variasi konsentrasi air limbah.
- b. Nilai F hitung untuk waktu tinggal limbah sebesar 33,249 dengan probalitas $0,000 < 0,05$ yaitu signifikan, hal ini berarti terdapat perbedaan rata-rata kadar Sianida diantara variasi pengambilan air limbah.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dan waktu pengambilan air limbah yang bermakna terhadap kadar Sianida maka dilanjutkan dengan uji statistik Tukey dan Bonferroni.

a. Menentukan variasi konsentrasi air limbah yang bermakna

Tabel 4.34 Hasil Uji Tukey Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap Kadar

Sianida

Hasil Analisa Uji Tukey					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	ns	ns	s
40%	ns	-	ns	ns	ns
60%	ns	ns	-	ns	ns
80%	ns	ns	ns	-	ns
100%	s	ns	ns	ns	-

s = signifikan ns = non signifikan

Tabel 4.35 Hasil Uji Bonferroni Dari Variasi Konsentrasi Air Limbah Terhadap

Kadar Sianida

Hasil Analisa Uji Bonferroni					
Variasi Konsentrasi Limbah	20%	40%	60%	80%	100%
20%	-	ns	ns	ns	ns
40%	ns	-	ns	ns	ns
60%	ns	ns	-	ns	ns
80%	ns	ns	ns	-	ns
100%	ns	ns	ns	ns	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang tidak bermakna pada konsentrasi air limbah 20% terhadap konsentrasi air limbah 40%, 60%, 80%, dan sedangkan pada konsentrasi air limbah 20% terhadap konsentrasi air limbah 100% terdapat perbedaan yang bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.

Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi air limbah yang tidak ada perbedaan secara bermakna, maka dapat digunakan nilai *homogeneous subsets* sebagai berikut :

Tabel 4.36 Nilai *Homogeneous Subsets* Konsentrasi Air Limbah Terhadap Sianida

		SIANIDA			
		KONST	N	Subset	
				1	2
Tukey HSD	a,b	konst limbah 20%	6	.31233	
		konst limbah 40%	6	.56183	.56183
		konst limbah 60%	6	.78500	.78500
		konst limbah 80%	6	1.00400	1.00400
		konst limbah 100%	6		1.01200
		Sig.			.053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type II Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .163.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

b. Alpha = .05.

pada subset 1 terlihat bahwa konsentrasi air limbah 20% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 40%, 60%, dan 80% subset 2 menunjukkan bahwa konsentrasi air limbah 40% tidak mempunyai perbedaan yang bermakna dengan konsentrasi air limbah 60%, 80%, dan 100%

b. Menentukan variasi waktu air limbah yang bermakna

Tabel 4.37 Hasil Uji Tukey Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar Sianida

Hasil Uji Tukey						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	s	s	s	s	s
2	s	-	s	s	s	s
4	s	s	-	ns	ns	ns
6	s	s	ns	-	ns	ns
8	s	s	ns	ns	-	ns
10	s	s	ns	ns	ns	-

Tabel 4.38 Hasil Uji Bonferroni Variasi Waktu Pengambilan Air Limbah Terhadap Kadar Sianida

Hasil Uji Bonferroni						
Waktu Pengambilan Air Limbah	0	2	4	6	8	10
0	-	s	s	s	s	s
2	s	-	s	s	s	s
4	s	s	-	ns	ns	ns
6	s	s	ns	-	ns	ns
8	s	s	ns	ns	-	ns
10	s	s	ns	ns	ns	-

ns = non signifikan s = signifikan

Dari hasil uji Tukey menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna pada waktu pengambilan air limbah hari ke 0 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 2, 4, 6, 8, 10 sedangkan pada waktu pengambilan air limbah pada hari ke 4 terhadap waktu pengambilan air limbah hari ke 6, 8, 10 terdapat perbedaan yang tidak bermakna dan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di atas.