TUGAS AKHIR – RE 141581

PHYTOTREATMENT LIMBAH CAIR TEMPE DENGAN MENGGUNAKAN *Cyperus rotundus L.* DAN *Scirpus grossus*

MARISSA OLIVIA DAMANIK
3313100041

Dosen Pembimbing
Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil , Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

2018

TUGAS AKHIR – RE 141581

PHYTOTREATMENT LIMBAH CAIR TEMPE DENGAN MENGGUNAKAN *Cyperus rotundus L.* DAN *Scirpus grossus*

MARISSA OLIVIA DAMANIK
3313100041

Dosen Pembimbing
Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil , Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

FINAL PROJECT – RE 141581

PHYTOTREATMENT OF TEMPE WASTEWATER USING *Cyperus rotundus L.* AND *Scirpus grossus*

MARISSA OLIVIA DAMANIK
3313100041

SUPERVISOR
Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental and Geo Engineering
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya

2018

LEMBAR PENGESAHAN
PHYTOTREATMENT* LIMBAH CAIR TEMPE DENGAN MENGGUNAKAN *Cyperus rotundus L.* DAN *Scirpus grossus

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S- 1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
MARISSA OLIVIA DAMANIK
3313100041

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.
197111142003122001

SURABAYA
JANUARI 2018

Phytotreatment Limbah Cair Tempe dengan Menggunakan *Cyperus rotundus L.* dan *Scirpus grossus*

Nama Mahasiswa : Marissa Olivia Damanik
NRP : 03211340000041
Jurusan : Teknik Lingkungan
Pembimbing : Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Tempe merupakan hasil fermentasi kedelai. Pada umumnya, konsentrasi ion hidrogen buangan industri tempe cenderung bersifat asam. Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam buangan industri tempe pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik di dalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Salah satu alternatif untuk memperbaiki air yang tercemar adalah dengan memanfaatkan teknik fitoremediasi menggunakan tanaman air. Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk menentukan beban limbah cair tempe yang dapat ditolerir oleh *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus* serta menentukan besar beban BOD, COD, dan TSS pada limbah cair tempe yang dapat diturunkan oleh tumbuhan *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus*.

Penelitian ini merupakan Phytotreatment limbah cair tempe dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus*. Penelitian ini diawali dengan *Range Finding Test* (RFT), dimana pada penelitian ini akan diketahui beban maksimum limbah cair tempe yang dapat ditolerir oleh tumbuhan selama proses penelitian. Beban maksimum ditunjukkan oleh terjadinya perubahan pada tumbuhan secara fisik (warna daun).

Beban maksimum yang diperoleh pada tahap pendahuluan digunakan sebagai rujukan dalam tahap selanjutnya (*phytotreatment*). Parameter yang akan diuji pada *phytotreatment* adalah adalah BOD, COD, TSS, analisis berat kering, analisis pH, suhu dan pertumbuhan tumbuhan. Sedangkan variabel penelitian yang akan diteliti yaitu variasi konsentrasi berdasarkan sumber limbah cair dari pembuatan tempe yaitu limbah rebusan, limbah rendaman serta limbah campuran rendaman dan rebusan, variasi

tumbuhan yaitu tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* serta variasi waktu pemaparan yakni 5 hari, 10 hari, 15 hari, dan 20 hari.
Pada uji RFT selama 7 hari pengamatan, didapatkan Beban BOD, COD dan TSS per tumbuhan secara berurutan yang mampu ditolerir oleh tumbuhan yakni, tumbuhan *Cyperus rotundus L*, 1,6 gram BOD/gram tumbuhan yang terdapat pada limbah rebusan, 2,6 gram COD/gram tumbuhan yang terdapat pada limbah rendaman dan 2,4 gram TSS/gram tumbuhan yang terdapat pada limbah rendaman. Sedangkan *Scirpus grossus* yakni 1,8 gram BOD/gram tumbuhan yang terdapat pada limbah rendaman, 2,9 gram COD/gram tumbuhan yang terdapat pada limbah rendaman dan 2,3 gram TSS/gram tumbuhan yang terdapat pada limbah rebusan.
Selama 20 hari pengamatan, didapatkan penurunan beban BOD, COD, dan TSS per tumbuhan secara berurutan adalah *Cyperus rotundus L,* 1,1 gram BOD/gram tumbuhan (62,6%) yang terdapat pada limbah campuran, 1,6 gram COD/gram tumbuhan (61,4%) yang terdapat pada limbah campuran, dan 0,9 gram TSS/gram tumbuhan (44,1%) yang terdapat pada limbah campuran. Sedangkan *Scirpus grossus* yakni 1,3 gram BOD/gram tumbuhan (94,5%) yang terdapat pada limbah rendaman, 2,3 gram COD/gram tumbuhan (86,7%) yang terdapat pada limbah rebusan dan 2,0 gram TSS/gram tumbuhan (93,1%) yang terdapat pada limbah rebusan.

Kata kunci: *Cyperus rotundus L* , Phytotreatment*, Scirpus grossus,* limbah cair tempe

Phytotreatment of *Tempe* Wastewater Using *Cyperus rotundus L.* and *Scirpus grossus*

Nama Mahasiswa : Marissa Olivia Damanik
NRP : 03211340000041
Jurusan : Teknik Lingkungan
Pembimbing : Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

Tempe is the result of soybean fermentation. In general, the concentration of waste hydrogen ions from tempe industry tends to be acidic. Organic materials contained in industrial wastes are generally very high. Organic compounds in the waste water can be proteins, carbohydrates, fats and oils. One alternative to fixing contaminated water is to utilize phytoremediation techniques using aquatic plants. The objectives to be achieved in this research were to determine the load of tempe liquid waste that can be tolerated by *Cyperus rotundus L* and *Scirpus grossus* and determine the load of BOD, COD, and TSS on *tempe* liquid waste which can be derived by *Cyperus rotundus L* and *Scirpus grossus*.

This research was Phytotreatment of tempe liquid waste by using *Cyperus rotundus L* and *Scirpus grossus* plant. This research began with Range Finding Test (RFT), where in this research woulf be known as maximum load of *tempe* liquid waste that can be tolerated by plants during the research process. Maximum load was indicated by physical changes in plants (leaf color).

The maximum load obtained at the introduction stage was used as a reference in the next stage (phytotreatment). Parameters to be tested on phytotreatment were BOD, COD, TSS, dry weight analysis, pH analysis, temperature and plant growth. While the research variables that would be studied was the concentration variation based on the source of liquid waste from the manufacture of tempe that is the waste of stew, the soaking waste and the mixture of soaking and decoction, the variation of plants that is *Cyperus rotundus L* and *Scirpus grossus* plants and the variation of exposure time is 5 days, 10 days, 15 day, and 20 days.

In the RFT test for 7 days of observation, we found that BOD, COD and TSS loads per plant were respectively able to be tolerated by plants, is *Cyperus rotundus L* plant, , 1.6 gram BOD/gram of plant for stew waste, 2.6 gram COD/gram of plant for soaking waste and 2.4 gram TSS/gram of plant for soaking waste. While *Scirpus grossus*, 1.8 gram BOD/gram of plant for soaking waste, 2.9 gram COD/gram of plant for stew waste and 2.3 gram TSS/gram of plant for stew waste.
During the 20-day observation period, BOD, COD, and TSS load decreased per plant were *Cyperus rotundus L*, 1.1 gram BOD/gram of plant (62.6%) for mixed waste, 1.6 gram COD/gram of plant (61.4%) fot mixed water and 0.9 gram TSS/gram of plant (44.1%) for mixed waste. While *Scirpus grossus*, 1.3 gram BOD/gram of plant (94.5%) for soaking waste, 2.3 gram COD/gram of plant (86.7%) for stew waste and 2.0 gram TSS/gram of plant (93.1%) for stew waste.

Key words: *Cyperus rotundus L,* phytotreatment, S*cirpus grossus Tempe* waste water

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang maha Esa atas limpah rahmat, berkat dan lindungan-Nya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini berjudul Phytotreatment Limbah Cair Tempe dengan Menggunakan *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus.* Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu yang telah diberikan dan kesabarannya dalam membimbing kami.
2. Ibu Harmin Sulistiyaningtitah, S.T., M.T., Ph.D, Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.Kes., dan Ibu Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen penguji tugas akhir atas segala masukan serta bimbingan yang telah diberikan.
3. Bapak dan ibu laboran yang membantu dalam proses penelitian saya.
4. Partner tugas Akhir saya, Dorlinca simamora yang selalu bersama baik dalam suka maupun duka.
5. Sahabat-sahabat saya, Nadya, Chusna, Uridna, Yuridna, Ostry, Martha, Titing, Rosalina, Dwy AT, Darosa, Ina, Kak Maya, dan Kak Dede atas semua bantuan dan dukungan yang diberikan.
6. Teman-teman angkatan 2013 atas segala bantuan dan dukungan yang diberikan.

   Mohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

Abstrak.....i
Abstract..... iii
KATA PENGANTAR.....v
DAFTAR ISI..... vii
DAFTAR GAMBAR..... ix
DAFTAR TABEL.....xiii
DAFTAR LAMPIRAN..... xv
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1. LATAR BELAKANG.....1
1.2. RUMUSAN MASALAH 3
1.3. TUJUAN.....3
1.4. RUANG LINGKUP 3
1.5. MANFAAT.....4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1. LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE 5
2.1.1. Proses Pembuatan Tempe.....5
2.1.2. Karakteristik Limbah Tempe.....7
2.1.3. Dampak Pencemaran Limbah Cair Tempe 8
2.2. TOKSIKOLOGI 9
2.2.1. Definisi Toksikologi 9
2.2.2. Faktor-Faktor Toksisitas 9
2.3. *PHYTOTREATMENT* 10
2.4. *Cyperus rotundus L.* 12
2.5. *Scirpus grossus* 13
BAB 3 METODE PENELITIAN 17
3.1. UMUM.....17
3.2. KERANGKA PENELITIAN.....17
3.3. TAHAPAN PENELITIAN.....17
3.3.1. Studi Literatur 17
3.3.2. Persiapan Rancangan Percobaan.....21
3.3.3. Persiapan Alat dan Bahan.....22
3.4. PENELITIAN PENDAHULUAN 24
3.5. PELAKSANAAN PENELITIAN 26
3.6. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 28
3.6.1. Analisis Parameter COD 28
3.6.2. Analisis Parameter BOD.....28
3.6.3. Analisis Rasio BOD/COD 29
3.6.4. Analisis pH dan Suhu 29
3.6.5. Analisis Kondisi Tumbuhan 30
3.6.6. Analisis Berat Kering 30

3.7. KESIMPULAN.....30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....31
4.1. TAHAP PROPAGASI DAN AKLIMATISASI 31
4.2. UJI KARAKTERISTIK LIMBAH AWAL 33
4.3. *RANGE FINDING TEST (RFT)*.....33
4.3.1. RFT *Cyperus rotundus L* 34
4.3.2. RFT *Scirpus grossus* 37
4.4. UJI *PHYTOTREATMENT* 40
4.4.1. *Cyperus rotundus L.* 41
4.4.2. *Scirpus grossus* 59
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....75
5.1. KESIMPULAN.....75
5.2. SARAN.....75
DAFTAR PUSTAKA.....77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagan Proses Pembuatan Tempe 7
Gambar 2.2 *Cyperus rotundus L.* 12
Gambar 2.3 *Scirpus grossus* 14
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian 21
Gambar 3.2 Pot untuk *Range Finding Test* 22
Gambar 3.3 Reaktor Tampak Atas..... 23
Gambar 3.4 Reaktor(Potongan A-A) 23
Gambar 3.5 Reaktor (Potongan B-B) 24
Gambar 3.6 Skema Penanaman Tumbuhan di Reaktor 27
Gambar 4.1 Umur *Cyperus rotundus L* yang digunakan dalam proses *Phythotreatment* 31
Gambar 4.2 Umur *Scirpus grossus* yang digunakan dalam proses *Phytotreatment* 32
Gambar 4.3 Pertumbuhan Tunas (a) *Scirpus grossus,* (b) *Cyperus rotundus L* 32
Gambar 4.4 Persen Kematian *Cyperus rotundus L* pada Limbah Rebusan 35
Gambar 4.5 Persen Kematian *Cyperus rotundus L* pada Limbah Campuran..... 36
Gambar 4.6 Persen Kematian *Cyperus rotundus L* pada Limbah Rendaman 36
Gambar 4.7 Persen Kematiaan *Scirpus grossus* pada Limbah Rebusan 38
Gambar 4.8 Persen Kematian *Scirpus grossus* pada Limbah Campuran..... 38
Gambar 4.9 Persen Kematian *Scirpus grossus* pada Limbah Rendaman..... 39
Gambar 4.10 Beban COD per Tumbuhan pada Limbah Rebusan dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* 42
Gambar 4.11 Beban COD per Tumbuhan pada Limbah Campuran dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* 42
Gambar 4.12 Beban COD per Tumbuhan pada Limbah Rendaman dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* 43
Gambar 4.13 Beban BOD per Tumbuhan pada Limbah Rebusan dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* 44

Gambar 4.14 Beban BOD per Tumbuhan pada Limbah Campuran dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* 45
Gambar 4.15 Beban BOD per Tumbuhan pada Limbah Rendaman dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* 46
Gambar 4.16 Ratio BOD/COD Limbah Rebusan dengan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* 48
Gambar 4.17 Ratio BOD/COD Limbah Campuran dengan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* 48
Gambar 4.18 Ratio BOD/COD Limbah Rendaman dengan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* 49
Gambar 4.19 Beban TSS per Tumbuhan pada Limbah Rebusan dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* 50
Gambar 4.20 Beban TSS per Tumbuhan pada Limbah Campuran dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* 50
Gambar 4.21 Beban TSS per Tumbuhan pada Limbah Rendaman dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* 51
Gambar 4.22 pH Air Limbah Rebusan *Cyperus rotundus L.* 52
Gambar 4.23 pH Air Limbah Campuran *Cyperus rotundus L.* .. 53
Gambar 4.24 pH Air Limbah Rendaman *Cyperus rotundus L.*... 53
Gambar 4.25 Suhu Air Limbah Rebusan *Cyperus rotundus L.* . 54
Gambar 4.26 Suhu Air Limbah Campuran *Cyperus rotundus L.* 54
Gambar 4.27 Suhu Air Limbah Rendaman *Cyperus rotundus L.* 55
Gambar 4.28 Pertumbuhan Batang *Cyperus rotundus L* 55
Gambar 4.29 Pertumbuhan Akar *Cyperus rotundus L* 56
Gambar 4.30 Pertumbuhan Tunas Baru *Cyperus rotundus L* ... 56
Gambar 4.31 Berat Basah *Cyperus rotundus L* 57
Gambar 4.32 Berat Kering *Cyperus rotundus L* 58
Gambar 4.33 Persen Kadar Air *Cyperus rotundus L* 58
Gambar 4.34 Beban COD per Tumbuhan pada Limbah Rebusan dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus* 59
Gambar 4.35 Beban COD per Tumbuhan pada Limbah Campuran dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus* 60

Gambar 4.36 Beban COD per Tumbuhan pada Limbah Rendaman dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus* 60
Gambar 4.37 Beban BOD per Tumbuhan pada Limbah Rebusan dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus* 61
Gambar 4.38 Beban BOD per Tumbuhan pada Limbah Campuran dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus* 62
Gambar 4.39 Beban BOD per Tumbuhan pada Limbah Rendaman dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus* 62
Gambar 4.40 Ratio BOD/COD Limbah Rebusan *Scirpus grossus* 63
Gambar 4.41 Ratio BOD/COD Limbah Campuran *Scirpus grossus* 64
Gambar 4.42 Ratio BOD/COD Limbah Rendaman *Scirpus grossus* 64
Gambar 4.43 Beban TSS per Tumbuhan pada Limbah Rebusan dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus* 65
Gambar 4.44 Beban TSS per Tumbuhan pada Limbah Campuran dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus* 66
Gambar 4.45 Beban TSS per Tumbuhan pada Limbah Rendaman dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus* 66
Gambar 4.46 pH Air Limbah Rebusan *Scirpus grossus* 67
Gambar 4.47 pH Air Limbah Campuran *Scirpus grossus* 68
Gambar 4.48 pH Air Limbah Rendaman *Scirpus grossus* 68
Gambar 4.49 Suhu Air Limbah Rebusan *Scirpus grossus*..... 69
Gambar 4.50 Suhu Air Limbah Campuran *Scirpus grossus* 69
Gambar 4.51 Suhu Air Limbah Rendaman *Scirpus grossus* 69
Gambar 4.52 Pertumbuhan Batang *Scirpus grossus*..... 70
Gambar 4.53 Pertumbuhan Akar *Scirpus grossus*..... 70
Gambar 4.54 Pertumbuhan Tunas Baru *Scirpus grossus* 71
Gambar 4.55 Berat Basah *Scirpus grossus* 71
Gambar 4.56 Berat Kering *Scirpus grossus*..... 72
Gambar 4.57 Persen Kadar Air *Scirpus grossus* 72

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Tempe 8
Tabel 4.1 Karakteristik Limbah Cair Tempe 33
Tabel 4.2 Beban per Tumbuhan *Cyperus rotundus L* 40
Tabel 4.3 Beban per Tumbuhan *Scirpus grossus* 40

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Prosedur Analisis Laboratorium 81
LAMPIRAN B Hasil Pengamatan Parameter 85
LAMPIRAN C Dokumentasi Penelitian.....127

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Tempe merupakan makanan yang digemari masyarakat, baik masyarakat kalangan bawah hingga atas. Keberadaannya sudah lama diakui sebagai makanan sehat, bergizi dan harganya murah. Hampir disetiap kota di Indonesia dijumpai industri tempe. Umumnya industri tempe termasuk ke dalam industri kecil yang dikelola oleh rakyat dan beberapa diantaranya masuk dalam wadah Koperasi Pengusaha Tahu dan Tempe (KOPTI).

Proses pembuatan tempe masih sangat tradisional dan banyak memakai tenaga manusia. Bahan baku utama yang digunakan adalah kedelai (*Glycine spp*). Konsumsi kedelai Indonesia pada tahun 2013 telah mencapai 7,8 kg/kap/tahun (Badan Ketahanan Pangan, 2013). Limbah dari pembuatan tempe mempunyai kadar BOD sekitar 5.000-10.000 mg/L, COD 7.000-12.000 mg/L (Nuraida, 2014) Bukan hanya itu, limbah cair pabrik tempe juga mengandung amoniak (NH_3N) bebas, nitrat (NO_3N) serta fosfat (PO_4) (Wiryani, 2013).

Jumlah pabrik tempe yang banyak dan sebagian besar mengambil lokasi di sekitar sungai ataupun selokan guna memudahkan proses pembuangan limbahnya, akan sangat mencemari lingkungan perairan di sekitarnya. Hal ini dapat terjadi karena belum adanya upaya pengolahan limbah. Limbah ini dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu, berpotensi menimbulkan kerusakan dan ketidak seimbangan biologis di alam. Oleh sebab itu penting untuk adanya proses pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air.

Proses produksi tempe, memerlukan air yang digunakan untuk perendaman, perebusan, pencucian serta pengupasan kulit kedelai. Limbah yang diperoleh dari proses tersebut dapat berupa limbah cair maupun limbah padat. Sebagian besar limbah padat yang berasal dari kulit kedelai, kedelai yang tidak layak (rusak) dan mengambang pada proses pencucian sudah banyak digunakan kembali sebagai pakan ternak. Namun untuk limbah cair sendiri yakni yang berasal dari proses perendaman, perebusan, pencucian serta pengupasan kulit kedelai masih dibuang langsung di perairan sekitarnya.

Jika limbah tersebut langsung dibuang ke perairan maka dalam waktu yang relatif singkat akan menimbulkan bau busuk dari gas H_2S, amoniak ataupun fosfat sebagai akibat dari terjadinya fermentasi limbah organik tersebut. Adanya proses pembusukan, akan menimbulkan bau yang tidak sedap, terutama pada musim kemarau dengan debit air yang berkurang. Ketidak seimbangan lingkungan baik fisik, kimia maupun biologis dari perairan yang setiap hari menerima beban limbah dari proses produksi tempe ini, akan dapat mempengaruhi kualitas air dan kehidupan organisme di perairan tersebut.

Berdasarkan taksonominya, *Cyperus rotundus L.* dan *Scirpus grossus* memiliki kelas, ordo, dan famili yang sama yakni Kelas: *Liliopsida*, Ordo : *Cyperales*, dan Famili : *Cyperaceae. Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus* merupakan jenis tanaman yang biasanya banyak tumbuh di rawa. Jenis tanaman gulma seperti *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus* sering ditemui namun masih jarang ada yang melakukan penelitian terhadap gulma tersebut. *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus* dipilih karena mudah didapatkan, dan banyak tumbuh di sekitar daerah pabrik tempe. *Scirpus grossus* digunakan dalam penelitian ini karena spesies ini potensial sebagai tumbuhan hiperakumulator (Tangahu, et al., 2010) yaitu tumbuhan yang secara alami mampu mengakumulasi logam dalam jumlah besar pada tunas mereka (Mangkoedihardjo & Samudro, 2010).

Cyperus rotundus L dapat menurunkan konsentasi BOD dan COD optimum pada lindi pada hari ke-12 dengan nilai penurunannya BOD 82,65% dan COD 73,38% (Amalia, Zaman, & Hadiwidodo, 2010). Waktu pemaparan yang optimal untuk pengolahan lindi menggunakan *Scirpus grossus* ialah dengan menggunakan 8 tumbuhan dengan waktu pemaparan selama 10 hari (Rachmaulin & Mangkoedihardjo, 2013). Untuk air limbah rumah tangga, tanaman *Scirpus grossus* dapat menurunkan kadar TSS limbah 89,47%, pH 6,19, BOD 40,89%, nitrit 48,32%, dan sulfat 13,24% (Sari, 2013).

Dengan banyaknya tanaman dan tumbuhan yang sudah diteliti sebelumnya dan masih banyak yang belum bisa diaplikasikan langsung dalam mengolah limbah cair tempe, maka peneliti ingin melakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan beban limbah cair tempe yang dapat ditolerir oleh *Cyperus rotundus L.* dan *Scirpus grossus* serta menentukan bear beban BOD, COD, dan TSS pada limbah cair tempe yang dapat

diturunkan oleh tumbuhan *Cyperus rotundus L.* dan *Scirpus grossus.*

1.2. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian dalam latar belakang, dapat dirumuskan masalah penelitian yaitu kemampuan *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus* dalam menurunkan beban BOD, COD dan TSS yang dikandung limbah cair tempe.

1.3. TUJUAN

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan beban limbah cair tempe yang dapat ditolerir oleh *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus* serta
2. Menentukan besar beban BOD, COD, dan TSS pada limbah cair tempe yang dapat diturunkan oleh tumbuhan *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus*.

1.4. RUANG LINGKUP

Adapun ruang lingkup yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Limbah cair tempe yang digunakan berupa limbah cair tempe yang diambil dari pabrik tempe rumahan yang berada di daerah Rungkut, Surabaya.
2. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium, pada ruangan *workshop* Teknik Lingkungan ITS dan Laboratorium Teknik Lingkungan ITS.
3. Jenis tumbuhan yang digunakan adalah *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus.*
4. Parameter yang diuji adalah BOD, COD, TSS dan pertumbuhan tumbuhan *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus* serta pH, suhu dan pertumbuhan tumbuhan sebagai parameter monitor.
5. Variabel yang digunakan, yaitu:
    - Variasi tumbuhan yang digunakan:
        a) *Cyperus rotundus L*
        b) *Scirpus grossus*

- Variasi Konsentrasi air limbah tempe (berdasarkan sumber limbah dari proses pembuatan tempe):
    a) Campuran limbah dari proses rebusan dan rendaman
    b) Proses perebusan
    c) Proses perendaman
- Variasi waktu pemaparan limbah: 5 hari, 10 hari, 15 hari dan 20 hari.

6. Total jumlah pot yang digunakan untuk tahap *Range Finding Test* (*RFT*) adalah 38 pot dengan masing-masing konsentrasi air limbah terdiri dari 30 pot, 6 pot sebagai kontrol limbah, dan 2 pot sebagai kontrol tumbuhan.
7. Reaktor yang digunakan adalah reaktor beton berukuran panjang 0,6 m, lebar 0,21 m, dan tinggi 0,2 m sebanyak 38 buah. Reaktor kontrol tumbuhan dengan media dan air PDAM sejumlah 8 buah, 6 buah reaktor untuk kontrol limbah dengan masing-masing jenis limbah dan 24 untuk reaktor uji.
8. Reaktor kontrol yakni berupa tumbuhan *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus* dengan media tanam tanpa limbah cair tempe.
9. Jenis aliran yang digunakan pada reaktor yaitu aliran *Batch*

Pada awal penelitian dilakukan penelitian pendahuluan berupa propagasi dan aklimatisasi tumbuhan.

1.5. MANFAAT

Adapun manfaat yang ingin diharapkan dari hasil penelitian ini adalah :

a Sebagai masukan alternatif pengolahan kepada pengusaha pembuat tempe untuk menangani limbah cair tempe.
b Menjadi bahan informasi bagi penelitian atau studi sejenis, terutama untuk peningkatan teknologi pengolahan limbah.
c Memberikan pengetahuan dan informasi mengenai pengolahan limbah cair tempe dengan memanfaatkan tumbuhan *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus*.
d Dapat dijadikan dasar untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE

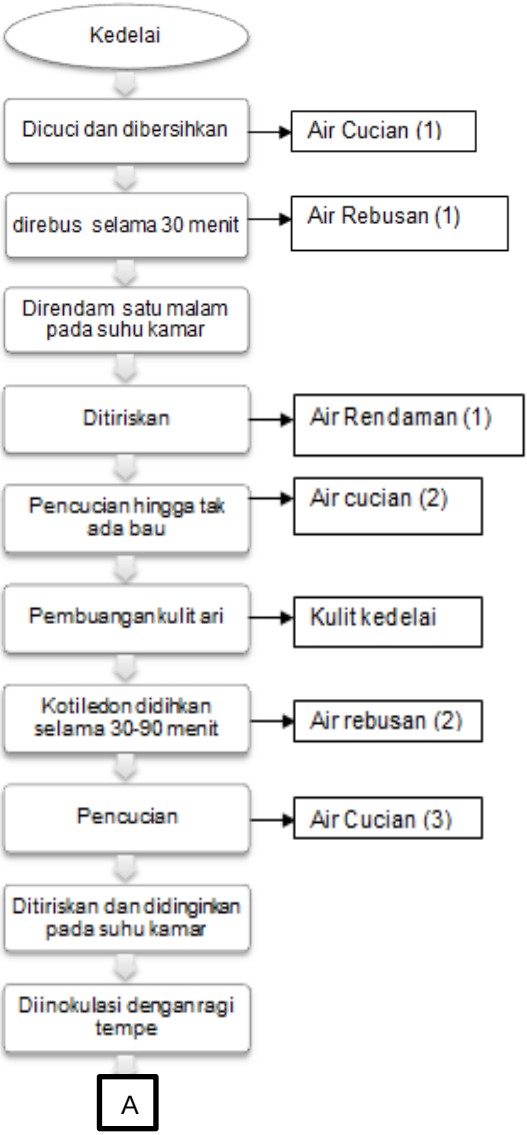
2.1.1. Proses Pembuatan Tempe

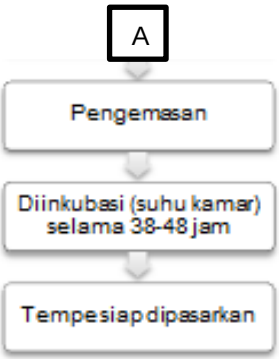
Untuk membuat rancangan pengolahan limbah tempe, perlu dilakukan terlebih dahulu pengenalan proses pembuatan tempenya. Dengan mengenal proses pembuatan tempe, jumlah limbah dapat diketahui dengan baik, demikian pula dengan tingkat pencemarannya, waktu pembuangannya, dan juga perlu diketahui adalah perilaku budaya masyarakat dan kondisi sosisalnya. Keberhasilan dan aplikasi pengolahan limbah tergantung kepada teknologi yang dipakai dan kemampuan masyarakat dalam pengoperasian dan pemeliharaannya.

Tempe merupakan hasil fermentasi kedelai, adapun proses pembuatan tempe adalah sebgai berikut:

1. Kedelai dimasak, setelah dimasak kedelai direndam 1 malam hingga lunak dan terasa berlendir, kemudian kedelai dicuci hingga bersih.
2. Kedelai dipecahkan dengan mesin pemecah, hingga kedelai terbelah dua dan kulit kedelai terpisah. Kulit kedelai dipisahkan dengan cara hasil pemecahan kedelai dimasukkan kedalam air, sehingga kulit kedelai mengambang dan dapat dipisahkan.
3. Kedelai kupas dicuci hingga bersih, kemudian dilanjutkan dengan proses peragian dengan cara mencampurkan ragi yang telah dilarutkan dan selanjutnya didiamkan selama kurang lebih 10 menit.
4. Kedelai yang telah mengandung ragi ditiriskan hingga hamper kering, kemudian dibungkus dengan daun pisang. Setelah fermentasi selama 2 hari diperoleh tempe (lihat Gambar 2.1)

Pada Gambar 2.1 terlihat bahwa pada setiap tahap proses pembuatan tempe membutuhkan air. Oleh karena itu air merupakan limbah yang dominan dalam proses pembuatan tempe disamping ampasnya. Namun demikian masih ada sebagian kecil dari limbah cair dapat dimanfaatkan kembali. Sedangkan ampas atau kulit kedelai dapat dimanfaatkan kembali untuk makanan ternak.


Kedelai
Dicuci dan dibersihkan
Air Cucian (1)
direbus selama 30 menit
Air Rebusan (1)
Direndam satu malam pada suhu kamar
Ditiriskan
Air Rendaman (1)
Pencucian hingga tak ada bau
Air cucian (2)
Pembuangan kulit ari
Kulit kedelai
Kotiledon didihkan selama 30-90 menit
Air rebusan (2)
Pencucian
Air Cucian (3)
Ditiriskan dan didinginkan pada suhu kamar
Diinokulasi dengan ragi tempe
A



Gambar 2.1 Bagan Proses Pembuatan Tempe

Sumber: (Hasil wawancara)

Pada proses pembuatan tempe ini, dari proses pencucian kedelai yang pertama kali biasanya digunakan sebagai pupuk untuk tanaman. Untuk penelitian kali ini, sumber limbah yang akan digunakan sebagai sampel yakni dari air rebusan, air rendaman dan limbah campuran rebusan dan rendaman.

Air rebusan yang digunakan adalah air rebusan yang sudah didinginkan terlebih dahulu, karena suhu pada saat rebusan sangat tinggi dan dapat merusak tumbuhan jika disiram dalam kondisi panas.

2.1.2. Karakteristik Limbah Tempe

Karakterisik buangan industri tempe ada dua hal yang perlu diperhatikan, yaitu: karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik fisika meliputi padatan total, suhu, warna dan bau. Karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik dan gas. Adapun suhu air limbah tempe berkisar 37-45°C, kekeruhan 535-585 FTU, warna 2225-2250 Pt.Co, Amonia 23,3-23,5 mg/L, BOD_5 6000-8000mg/L dan COD 75000-14000 mg/L, suhu buangan dari hasil proses pemasakan yaitu 40°C sampai 46°C.

Suhu yang meningkat di lingkungan perairan akan mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen dan gas lain, kerapatan air, viskositas, dan tegangan permukaan (Herlambang, 2011) . Baku mutu limbah cair tempe berdasarkan Pergub Jatim No.72 Tahun 2013 adalah seperti tercantum pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Tempe

Parameter	Kadar maksimum (mg/L)
BOD5	150
COD	300
TSS	100
pH	6,0 - 9,0
VolumeAir Limbah Maksimum (m3/ton kedelai)	10

Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013

Pada umumnya, konsentrasi ion hidrogen buangan industri tempe cenderung bersifat asam. Komponen terbesar dari limbah cair tempe adalah protein (N-total) sehingga masuknya limbah cair tempe ke lingkungan perairan akan meningkatkan total nitrogen di perairan tersebut. Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam buangan industri tempe pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik di dalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Diantara senyawa –senyawa tersebut, protein dan lemak adalah jumlah yang paling banyak yang mencapai 40-60% protein, 25-50% karbohidrat, dan 10% lemak (Herlambang, 2011).

2.1.3. Dampak Pencemaran Limbah Cair Tempe

Adapun akibat dari pencemaran bahan organik dari limbah industri tempe adalah sebagai berikut:

1. Turunnya kualitas air perairain akibat meningkatnya kandungan bahan organik. (Abel, 1989) menyatakan bahwa aktivitas mikroorganisme dapat memecah molekul organik yang kompleks menjadi molekul organik yang sederhana. Bahan anorganik seperti ion fosfat dan nitrat dapat dipakai sebagai makanan oleh tumbuhan yang melakukan fotosintesis. Selama proses metabolisme oksigen banyak dikonsumsi, sehingga apabila bahan organik dalam air sedikit, oksigen yang hilang dari air akan segera diganti oleh oksigen hasil proses fotosintesis dan oleh reaerasi dari udara. Sebaliknya jika konsentrasi beban organik terlalu tinggi, maka akan tercipta kondisi anaerobik yang menghasilkan produk dekomposisi berupa ammonia, karbon dioksida, asam asetat, hidrogen sulfide, dan metana. Senyawa-senyawa tersebut

sangat toksik bagi sebagian besar hewan air dan secara estetika tidak nyaman dan menimbulkan bau.
2. Biaya untuk proses pengolahan air minum meningkat dan timbulnya senyawa klororganik yang bersifat karsinogenik akibat proses klorinasi yang berlebihan.
3. Gangguan kesehatan, khususnya yang berkaitan dengan air yang kotor dan sanitasi lingkungan yang tidak baik.

2.2. TOKSIKOLOGI

2.2.1. Definisi Toksikologi

Toksikologi adalah ilmu yang mempelajari efek merugikan dari zat-zat kimia terhadap organisme hidup. Selain itu toksikologi juga mempelajari kerusakan/cedera pada organisme (hewan, tumbuhan, dan manusia) yang diakibatkan oleh suatu materi substansi/energi, mempelajari racun tidak saja efeknya, tetapi juga mekanisme terjadinya efek tersebut pada organisme dan mempelajari kerja kimia yang merugikan terhadap organisme. Serta mempelajari secara kuantitatif dan kualitatif pengaruh jelek dari zat kimiawi, fisik, dan biologis terhadap sistem biologis (Soemirat, 2003).

2.2.2. Faktor-Faktor Toksisitas

Limbah atau toksikan di alam ada yang bersifat tunggal dan campuran. Keberadaannya di lingkungan (terutama perairan) akan berinteraksi dengan komponen atau faktor lain. Tingkat toksisitas dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut (Mangkoediharjo & Samudro, 2009):

1. Berkaitan dengan toksikan itu sendiri.
   Toksisitas toksikan dapat dipengaruhi oleh komposisi toksikan. Ada kemungkinan komponen toksikan mempunyai perbedaan toksisitas. Faktor lain adalah sifat-sifat fisik kimia toksikan.
2. Berkaitan dengan pemaparan toksikan.
   Toksikan akan menghasilkan efek negatif jika kontak dan bereaksi dengan target biota pada konsentrasi tertentu dan waktu tertentu. Faktor- faktor yang berkaitan dalam pemaparan toksikan adalah:
   a. Jenis toksikan

Toksikan hidrofilik (suka air) akan terlarut dalam air dan lebih cepat mengadakan kontak reaksi dibanding toksikan hidrofobik bagi biota pelagik.

b. Durasi pemaparan

Pemaparan jangka pendek (skala waktu jam dan hari) secara umum sangat pendek dibandingkan umur reproduksi biota dari toksikan (misalnya hidrofilik) dapat memberikan efek akut. Pemaparan jangka panjang (skala waktu hari, minggu, bulan dan tahun) secara umum meliputi umur generasi biota mungkin diperlukan bagi toksikan (misalnya hidrofobik) agar memberi kesempatan toksikan mengadakan kontak reaksi dan memberikan efek kronis.

c. Frekuensi pemaparan

Frekuensi pemaparan bisa sekali, berulang atau kontinu.

d. Konsentrasi toksikan

Pada umumnya berkaitan dengan frekuensi pemaparan. Pemaparan sekali terjadi pada konsentrasi tinggi dan menurun untuk pemaparan berulang hingga kontinu.

3. Berkaitan dengan lingkungan

Sifat-sifat lingkungan yang mempengaruhi toksikan di atas juga mempengaruhi toksisitas toksikan.

4. Berkaitan dengan biota

Toksisitas toksikan berbeda untuk berbagai spesies biota, karena adanya perbedaan ketahanan dan kemudahan spesies biota menerima toksikan. Perbedaan diantara spesies biota tersebut berkaitan dengan faktor-faktor genetik, umur dan status kesehatan.

2.3. *PHYTOTREATMENT*

Proses penurunan kadar zat pencemar dalam air limbah dengan menggunakan tumbuhan air merupakan kerjasama antara tumbuhan dengan mikroba yang berasosiasi dengan tumbuhan tersebut. Tumbuhan tidak dapat memilih apa yang akan diserap karena akarnya akan menyerap segala zat dalam cairan (Mangkoedihardjo & Samudro, 2010). Dalam kondisi demikian tumbuhan akan memberikan berbagai respon terhadap lingkungan. Zat cair dalam lingkungan media tumbuh direspon oleh tumbuhan melalui beberapa proses, yaitu:

1. Fitostabilisasi
   Proses imobilisasi kontaminan dalam tanah. Naiknya kontaminan disebabkan terbawa aliran air tanah melalui proses kapiler, pada zona vadose lapisan atas tanah (zona tanah tidak jenuh air), terutama pada saat musim kemarau. Demikian juga kontaminan terbawa aliran air tanah saat musim penghujan, ketika air tanah naik mendekati permukaan tanah. Di samping itu, kontaminan naik menuju zona akar disebabkan proses transpirasi tumbuhan. Hal tersebut menyebabkan kontaminan akan terakumulasi sehingga tidak bergerak keluar zona akar.
2. Rizofiltrasi
   Proses ini merujuk pada proses adsorpsi atau presipitasi kontaminan pada akar atau penyerapan ke dalam akar. Rizolfitrasi biasa terjadi untuk kontaminan yang memiliki perbedaan muatan ion dengan ion akar. Ion akar, misalnya bikarbonat, akan mengikat kation kontaminan, misalnya logam berat. Proses ini juga terjadi karena koagulan kontaminan dan kondisi pH air tanah.
3. Rizodegradasi
   Proses yang terjadi adalah penguraian kontaminan dalam tanah oleh aktivitas mikroba. Kontaminan yang mengalami proses mikrobiologis adalah kontaminan organik yang mudah terurai mikroba, yang dapat terukur sebagai BOD dan kontaminan anorganik misalnya ammonium dan nitrit serta logam berat.
4. Fitoekstrasi
   Proses yang terjadi adalah penyerapan kontaminan oleh tumbuhan dari media tumbuhnya. Kontaminan yang terserap selanjutnya terdistribusi ke berbagai organ tumbuhan. Proses ini berlangsung sejalan dengan proses transpirasi.
5. Fitodegradasi
   Proses ini merupakan proses penguraian kontaminan yang terserap melalui proses metabolic dalam tumbuhan. Sebagai contoh yaitu kontaminan karbondioksida udara diserap melalui stomata daun dan di dalam sel tumbuhan terurai menjadi karbohidrat
6. Fitovolatisasi
   Proses pelepasan kontaminan ke udara setelah terserap tumbuhan. Kontaminan terserap dapat berubah struktur kimianya sebelum lepas ke udara.

2.4. *Cyperus rotundus L.*

Rumput Teki (*Cyperus rotundus*) adalah salah satu gulma yang penyebarannya luas. Gulma ini hampir selalu ada di sekitar segala tanaman budidaya, karena mempunyai kemampuan tinggi untuk beradaptasi pada jenis tanah yang beragam. Termasuk gulma perennial dengan bagian dalam tanah terdiri dari akar dan umbi. Umbi pertama kali dibentuk pada tiga minggu setelah pertumbuhan awal. Umbi tidak tahan kering, selama 14 hari di bawah sinar matahari, daya tumbuhnya akan hilang (Pranasari, T, & K, 2012). Adapun gambar dari *Cyperus rotundus L* dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Gambar 2.2 *Cyperus rotundus L.*

Sumber: (Moenandir, 1993)

Taksonomi

Kingdom	*: Plantae (tumbuhan)*
Divisi	*: Magnoliophyta (tumbuhan berbunga)*
Kelas	*: Liliopsida*
Ordo	*: Cyperales*
Famili	*: Cyperaceae*
Spesies	*: Cyperus rotundus L.* (Moenandir, 1993)

Rumput teki tumbuh liar di tempat terbuka atau sedikit terlindung dari sinar matahari pada lapangan rumput, pinggir jalan, tegalan, atau lahan pertanian yang tumbuh sebagai gulma yang sukar diberantas. Rumput ini bisa tumbuh pada bermacam-macam tanah dan terdapat dari 1-1000 meter dpl (Dalimartha, 2009).

Rumput teki *(Cyperus rotundus .L*) atau terkadang disebut teki, mota, koreha wai, rukut teki, rukut wuta adalah

rumput palsu (batang segitiga) yang dapat hidup sepanjang tahun dengan ketinggian 10 sampai dengan 75 cm. Beberapa negara memberi nama tanaman ini : *Musta, Mustaka, Mutha, Mothan, Nagamothan, Xiang Fu, Nutgrass, Tirirca, Tagernut, Hama-Suge, So Ken Chiu, Tage-Tage*. Rumput teki mempunyai tinggi sekitar 15-95 cm, batang segitiga. Daun 4-10 helai terdapat pada pangkal batang membentuk roset akar, dengan pelepah daun tertutup tanah. Helaian daun bangun pita, pertulangan daun sejajar, tepi daun rata, permukaan atas berwarna hijau mengkilap dengan panjang 10-60 cm, dan lebar 2-6 mm. Perbungaan majemuk berbentuk bulir mempunyai 8-25 bunga yang berkumpul berbentuk payung, berwarna kuning atau cokelat kuning. Umbi menjalar, berbentuk kerucut yang besar pada pangkalnya, kadang-kadang melekuk, berwarna cokelat, berambut halus berwarna cokelat atau cokelat kehitaman, keras, wangi dan panjang 1,5-4,5 cm dengan diameter 5-10 mm (Dalimartha, 2009).

Tanaman ini biasanya tumbuh liar di kebun, ladang ataupun tempat lain dengan ketinggian sampai 1000 m dari permukaan laut. Ciri khasnya terletak pada buah-buahnya yang berbentuk kerucut besar pada pangkalnya, umbi-umbi ini biasanya mengumpul berupa rumpun. Umbi rumput teki mengandung 0,3-1 % minyak esensial yang isinya bervariasi, seperti golongan *sesquiterpene ; α* dan *β-cyperene, α* dan *β-cyperol, cyperotundone, isocyperol, cyperoone, cyperolone, β-selinene, patchoulenone, kobusone, isokobusone, copadiene, epoxyquaine, rotundone,* mengandung pula *alkaloid, glikosida* jantung dan *flavonoid* (Jawetz & Adelbergs, 2009). *Cyperus rotundus* dapat menurunkan kadar BOD pada lindi sebesar 82,65% dan COD sebesar 73,38% (Amalia, Zaman, & Hadiwidodo, 2010).

2.5. *Scirpus grossus*

Scirpus grossus merupakan tumbuhan perairan tropis yang tumbuh sepanjang tahun dengan nama sebutan umum Mensiang atau Walingi. Tumbuhan ini umumnya hidup di lahan basah (daerah berair), tetapi dapat pula ditemukan di daerah tanah yang subur dengan sirkulasi yang baik. Tumbuhan ini memiliki akar berserat warna putih atau coklat, padat, batang berbentuk segitiga, panjang, lebar daun lebih dari 2 meter. Berat

kering *Scirpus grossus* di atas tanah adalah 1,75; 1,60; dan 0,8-0,75 kg/m^2 dengan maksimum 1,9-1,2 0,75 kg/m^2 (Sasikala, M, M, & B, 2009).

Scirpus grossus tergolong dalam gulma *sedges* (berdaun sempit), batang mendong (*calamus*) seperti batang rumput, tetapi mempunyai ruas-ruas yang lebih panjang dan berbentuk segitiga. Tumbuhan ini termasuk gulma tahunan, yaitu gulma yang umurnya lebih dari dua tahun. Gulma ini umumnya berkembang biak secara vegetatif dan generatif. Organ perkembangbiakkan berupa stolon atau rimpang, yaitu batang yang menjalar dalam tanah, serta pada setiap buku atau ruas dapat tumbuh tunas dan akar menjadi individu baru. Tumbuhan ini memiliki akar rimpang, tumbuh pada daerah rawa-rawa tergenang air tawar, seperti kolam dan sawah, tumbuh baik pada dataran rendah sampai ketinggian 800 mdpl dengan tinggi tumbuhan antara 0,80-2 meter. Tumbuhan ini sering ditemukan dalam jumlah besar secara berkelompok (Heyne, 1987). Adapun gambar dari tumbuhan *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Gambar 2.3 *Scirpus grossus*

Sumber: (Heyne, 1987)

Taksonomi:

Kingdom	: *Plantae*
Filum	: *Tracheophyta*
Kelas	: *Liliopsida*
Ordo	: *Cyperales*
Famili	: *Cyperaceae*
Genus	: *Scirpus*
Spesies	: grossus (Heyne, 1987)

Scirpus grossus merupakan tumbuhan yang mampu bertahan pada lingkungan yang tercemar. Pada penelitian yang dilakukan oleh Sundari dkk. (2013), diketahui bahwa *Scirpus grossus* memiliki potensi untuk mengurngi konsentrasi nitrat dan ortofosfat hingga 90% setelah enam hari inkubasi.

Scirpuss grossus merupakan tumbuhan hiperakumulator. Tumbuhan ini dapat digunakan untuk proses fitoremediasi air limbah (Tangahu, Abdullah, Basri, H, Anuar, & Mukhlisin, 2010).

Hasil efisiensi pengolahan dengan media pendukung perlit pada instalasi tumbuhan: BOD 98,07-99,14%; COD 96,38-98,11%; TSS 89,70-97,00%; NH3 93,71-95,73%; N tot 81,58-95,91%; kenaikan pH menjadi 6,61-7,09, dan tanpa tumbuhan BOD 95,93-97,98%; COD 83,80-90,19%; TSS 86,57-89,71%; NH3 68,99-88,35%; N total 79,52-91,88%; kenaikan pH menjadi 6,4-6,77. Efisiensi penyisihan pencemar dengan instalasi tumbuhan rata-rata lebih besar 7% dibandingkan instalasi tanpa tumbuhan (Komala, Sy, & Murti, 2010).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1. UMUM

Metode penelitian merupakan acuan yang akan digunakan untuk penelitian. Penelitian ini merupakan *Phytotreatment* limbah cair tempe dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpud grossus.* Penelitian ini diawali dengan melakukan penelitian pendahuluan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui beban pencemar maksimum dari limbah tempe yang dapat ditolerir oleh tumbuhan selama proses penelitian.

Parameter yang akan diuji dalam penelitian pendahuluan dan *Phytotreatment* adalah BOD, COD, TSS, analisis berat kering, analisis pH, suhu dan pertumbuhan tumbuhan (tinggi dan warna tumbuhan). Sedangkan variabel penelitian yang akan diteliti yaitu variasi konsentrasi berdasarkan sumber limbah cair dari pembuatan tempe yakni dari prosees rebusan, rendaman dan campuran dari limbah rebusan dan rendaman, variasi tumbuhan yaitu tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus* , serta variasi waktu pemaparan yakni 5 hari, 10 hari, 15 hari, dan 20 hari. Pengamatan ini berskala laboratorium yang dilakukan di *workshop* Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya dan Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.

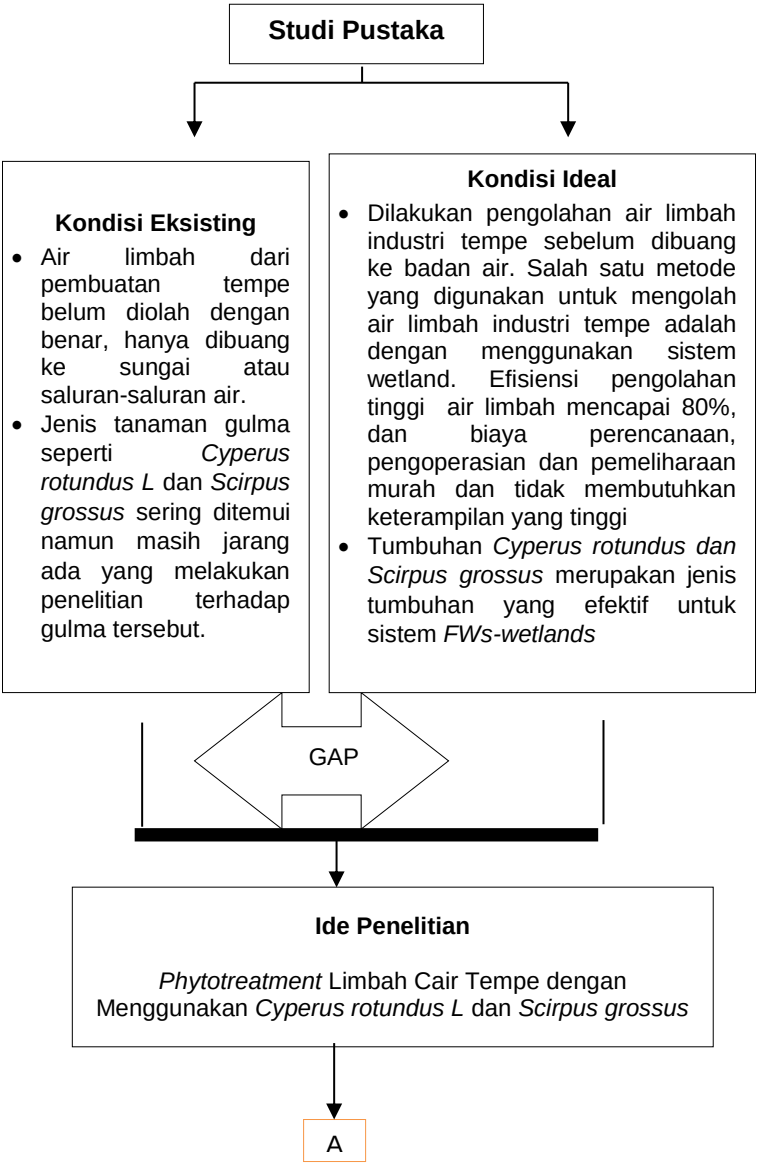
3.2. KERANGKA PENELITIAN

Kerangka penelitian merupakan kerangka dasar sebagai acuan penelitian. Adapun kerangka penelitian ini adalah seperti tercantum pada Gambar 3.1.

3.3. TAHAPAN PENELITIAN

3.3.1. Studi Literatur

Dalam penelitian ini, studi literatur merupakan acuan untuk mendapatkan suatu ide studi. Studi literarur yang digunakan dapat berupa *text book*, jurnal, tesis, atau tugas akhir yang mempunyai hubungan dengan penelitian ini.


Studi Pustaka
Kondisi Eksisting
Air limbah dari pembuatan tempe belum diolah dengan benar, hanya dibuang ke sungai atau saluran-saluran air.
Jenis tanaman gulma seperti Cyperus rotundus L dan Scirpus grossus sering ditemui namun masih jarang ada yang melakukan penelitian terhadap gulma tersebut.
Kondisi Ideal
Dilakukan pengolahan air limbah industri tempe sebelum dibuang ke badan air. Salah satu metode yang digunakan untuk mengolah air limbah industri tempe adalah dengan menggunakan sistem wetland. Efisiensi pengolahan tinggi air limbah mencapai 80%, dan biaya perencanaan, pengoperasian dan pemeliharaan murah dan tidak membutuhkan keterampilan yang tinggi
Tumbuhan Cyperus rotundus dan Scirpus grossus merupakan jenis tumbuhan yang efektif untuk sistem FWs-wetlands
GAP
Ide Penelitian
Phytotreatment Limbah Cair Tempe dengan Menggunakan Cyperus rotundus L dan Scirpus grossus
A

A

Kerangka Penelitian

1. Berapa beban limbah cair tempe yang dapat ditolerir oleh *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus* serta
2. Berapa besar beban BOD, COD, dan TSS pada limbah cair tempe yang dapat diturunkan oleh tumbuhan *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus*.

Tujuan Penelitian

1. Menentukan beban limbah cair tempe yang dapat ditolerir oleh *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus* serta
2. Menentukan besar beban BOD, COD, dan TSS pada limbah cair tempe yang dapat diturunkan oleh tumbuhan *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus*.

B

B

Persiapan Alat dan Bahan

1. Bahan untuk pembuatan reaktor
2. Reaktor *Wetlands* jenis *FWs*
3. Tumbuhan *Cyperus* dan *Scirpus grossus*
4. Peralatan dan bahan untuk uji parameter

Penelitian Pendahuluan

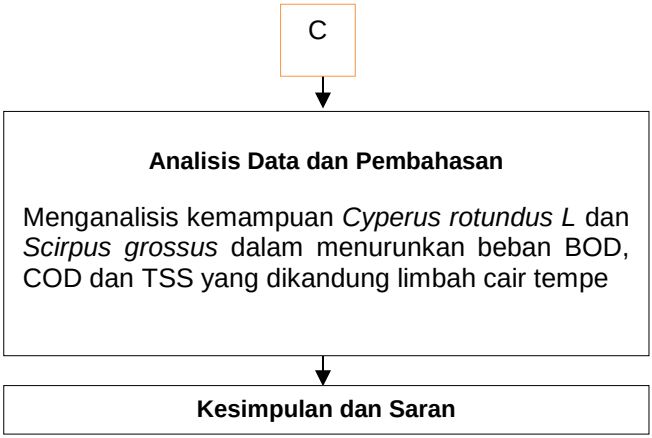
1. Aklimatisasi dan Propagasi tumbuhan
2. Pengambilan limbah industri tempe
3. *Range Finding Test*

Penelitian Utama

Variabel yang digunakan adalah variasi tumbuhan, variasi aliran dan variasi sumber limbah dari proses pembuatan tempe.

- Variasi tumbuhan: *Cyperus rotundus* dan *Scirpus grossus*
- Variasi sumber limbah: campuran limbah dari semua proses, proses perendaman, dan proses pencucian.
- Variasi waktu pemaparan: 5 hari, 10 hari, 15 hari dan 20 hari

C



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3.2. Persiapan Rancangan Percobaan

Persiapan rancangan ini meliputi persiapan pembuatan reaktor, asal tumbuhan, propagasi, asal limbah dan penyiapan limbah. Parameter penelitian yang digunakan adalah BOD, COD dan TSS. Adapun parameter penunjang adalah suhu, pH, pertumbuhan tumbuhan (tinggi tumbuhan, warna tumbuhan, kondisi batang dan daun), dan DO. Untuk variabel yang digunakan adalah sumber limbah dari proses pembuatan tempe, variabel jenis tumbuhan yang digunakan serta variabel waktu pemaparan terhadap limbah cair tempe.

Reaktor yang digunakan adalah reaktor beton yang berukuran panjang 0,6 m, lebar 0,21 m, dan tinggi 0,2 m dengan media tanam pasir silika dan air PDAM, tanaman *Cyperus rotundus* diambil dari daerah kampus ITS Surabaya tepatnya di belakang gedung rektorat ITS, tumbuhan *Scirpus grossus* diambil dari daerah Rungkut Surabaya, dan limbah yang digunakan diambil dari pabrik tempe di daerah Rungkut, Surabaya. Pada tahap propagasi menggunakan ember berukuran panjang 0,55 cm, lebar 0,43 cm, dan tinggi 0,24 cm dengan media adalah tanah taman dan air PDAM. Adapun penyiapan limbah, limbah diambil langsung menggunakan jeregen dan pengenceran air limbah menggunakan air PDAM.

3.3.3. Persiapan Alat dan Bahan

Beberapa alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

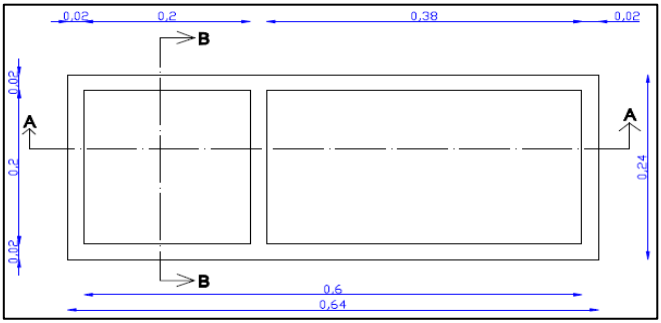
- Pot yang digunakan untuk penelitian pendahuluan (RFT) berupa pot plastik berukuran panjang 0,55 cm, lebar 0,43 cm, dan tinggi 0,24 cm sebanyak 16 buah.

Gambar 3.2 Pot untuk *Range Finding Test*

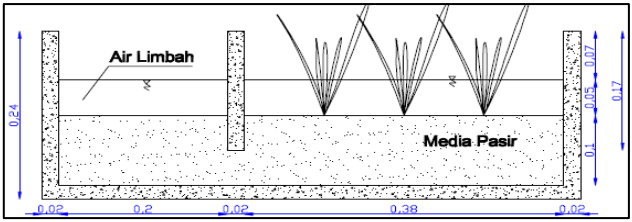
- Reaktor Phytotreatment berupa reaktor yang terbuat dari beton semen yang berukuran panjang 0,6 m, lebar 0,21 m, dan tinggi 0,2 m sebanyak 19 buah. Reaktor ini diletakkan di *greenhouse* untuk menghindari gangguan hama ataupun hujan.
- Peralatan analisis parameter. Adapun peralatan parameter berupa:
  - Termometer, untuk mengukur suhu air pada reaktor
  - Tabung COD, sebagai tempat analisis limbah cair tempe untuk parameter COD
  - Botol winkler, sebagai tempat analisis limbah cair tempe untuk parameter BOD
  - Erlenmeyer, digunakan untuk menitrasi sampel
  - Pipet volumetrik, untuk mengambil sampel dan reagen saat analisis
  - Cawan porselen, untuk wadah tumbuhan dalam menganalisis berat kering
  - pH meter, untuk mengukur nilai pH limbah cair tempe
  - Termometer, untuk mengukur suhu limbah cair tempe
  - Oven, untuk menganalisis berat kering tumbuhan
  - Penggaris, untuk mengukur tinggi dan lebar daun tumbuhan
  - Pinset, untuk mengambil sampel tumbuhan

- Persiapan Bahan. Beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
  - Tumbuhan *Cyperus rotundus L.* Dan *Scirpus grossus*, dengan karakteristik awal tumbuhan sebagai berikut:
    - *Cyperus rotundus L.*
      - Tinggi tumbuhan: 20-30 cm
      - Warna tumbuhan: Hijau terang
    - *Scirpus grossus*
      - Tinggi tumbuhan: 50-60 cm
      - Warna tumbuhan: Hijau terang
  - Limbah cair tempe
  - Pasir dengan tebal 20 cm di setiap pot pada penelitian pendahuluan
  - Pasir silika dengan tebal 15 cm sebagai media tanam dalam reaktor
  - *Aquadest*

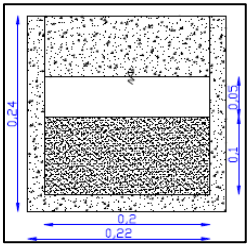
Adapun bentuk dari reaktor yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3 sampai dengan Gambar 3.5



Gambar 3.3 Reaktor Tampak Atas



Gambar 3.4 Reaktor(Potongan A-A)



Gambar 3.5 Reaktor (Potongan B-B)

3.4. PENELITIAN PENDAHULUAN

Metode analisi yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan standar prosedur analisis yaitu *Standard Method.* Sebelum dilakukan analisi, terlebih dahulu dilakukan beberapa penelitian pendahuluan diantaranya:

1. Pengambilan sampel air limbah
   Sampel air limbah yang digunakan langsung diambil di pabrik tempe. Ada beberapa sampel air limbah yang akan digunakan, yakni campuran semua limbah yang berasal dari proses pembuatan tempe, limbah dari proses perebudan, perendaman dan campuran rebusan dan rendaman. Wadah yang digunakan untuk pengambilan masing-masing sampel adalah jeregen 25 liter yang sebelumnya dibilas terlebih dahulu menggunakan sampel air limbah yang akan digunakan.
2. Analisis awal COD, BOD dan TSS
   Analisis ini dilakukan untuk mengetahui besar beban pencemar pada limbah tempe. Hasil dari analisis ini digunakan sebagai acuan dalam penentuan variasi konsentrasi. Analisis awal BOD, COD dan TSS dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya dengan menggunakan metode Uji BOD_5 untuk BOD, metode refluks terbuka untuk COD, dan metode gravimetri untuk TSS.
3. Aklimatisasi Tumbuhan
   Aklimatisasi tumbuhan bertujuan agar tumbuhan dapat menyesuaikan diri dengan air limbah yang nantinya menjadi media tanam. Rentang waktu aklimatisasi dilakukan hingga munculnya puncuk pada tumbuhan. Proses aklimatisasi dilakukan dengan cara:

- Penanaman tumbuhan pada media tumbuh dengan menggunakan pasir silika dan air PDAM ke dalam reaktor ukuran 0,6 m x 0,21 m x 0,2 m.
- Setelah tumbuh batang baru, dilakukan pemilihan tumbuhan yang sehat dan segar sesuai dengan karakteristik tumbuhan yang telah ditentukan.
- Tumbuhan siap diaplikasikan.

4. *Range Finding Test (RFT)*

   Test ini bertujuan untuk menentukan rentang konsentrasi limbah cair maksimum yang dapat ditolerir oleh tumbuhan. Dalam penelitian ini, variasi konsentrasi yang digunakan adalah berdasarkan sumber limbah dari proses pembuatan tempe yakni limbah campuran dari semua proses, dari proses perebusan, perendaman dan campuran rebusan dan rendaman. Proses *RFT* dilakukan dengan cara:

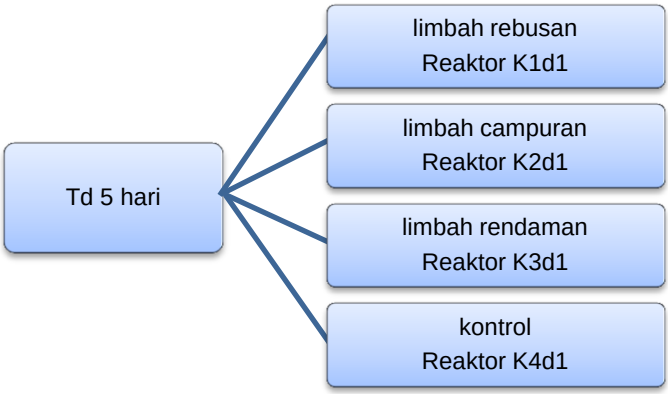
   - Variasi konsentrasi limbah cair dalam setiap media tanam, yaitu (0%, 10%, 25%, 50%, 75% dan 100%), dimana variasi konsentrasi didapatkan dengan cara mengencerkan limbah dengan menggunakan air PDAM. Contohnya konsentrasi 10% terdiri dari 200ml limbah cair tempe dan 1800ml air PDAM.
   - Tumbuhan ditanam pada media tanam berdasarkan variasi konsentrasi berdasarkan sumber limbah dari proses pembuatan tempe. Rentang waktu *RFT* ini dilakukan selama 1 minggu (7 hari).
   - Selama rentang waktu *RFT,* dilihat tumbuhan yang mengalami perubahan dan mengalami kemampuan bertahan dalam variasi konsentrasi.
   - Jika dalam rentang waktu tersebut, tumbuhan mengalami kematian ataupun layu, maka konsentrasi tersebut telalu tinggi untuk diterima tumbuhan sehingga konsentrasi ini tidak dipilih dalam tahap penelitian selanjutnya (penelitian utama). Untuk konsentrasi yang masih dapat ditoleransi oleh tumbuhan, akan dijadikan variasi konsentrasi dalam pelaksanaan penelitian utama.
   - Pada tahap RFT untuk tumbuhan *Cyperus rotundus L* akan dipaparkan limbah cair tempe

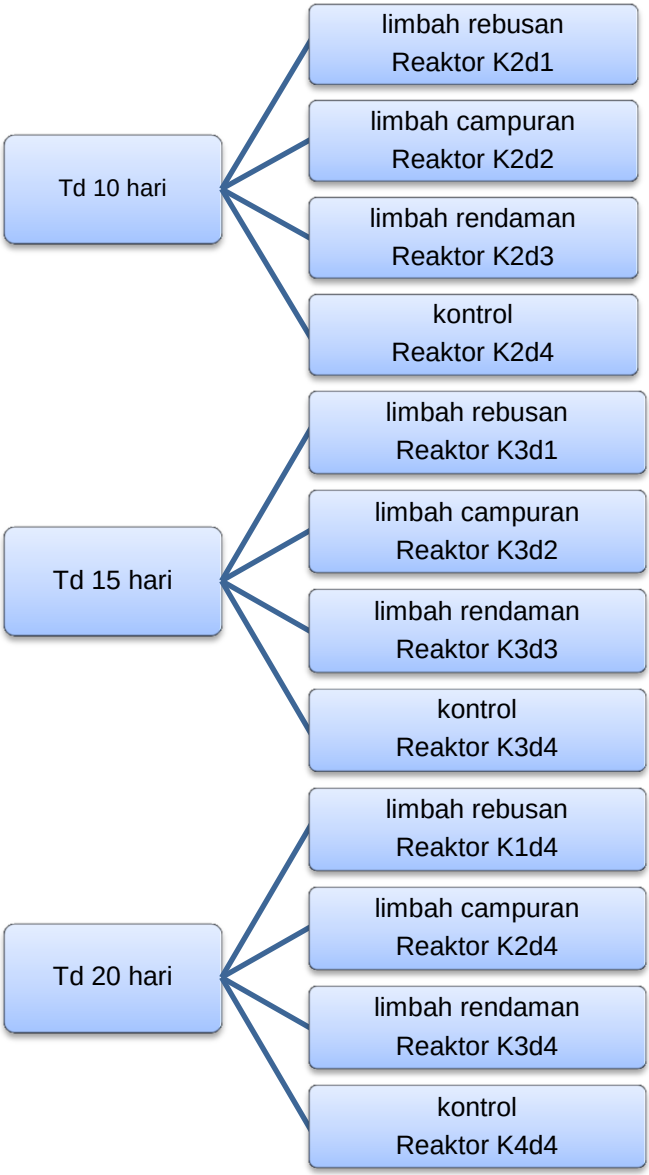
dengan konsentrasi 0%, 10%, 25%, 50%, 75%, 100%. Dengan volume limbah sebanyak 2 liter, jumlah koloni tumbuhan yang digunakan adalah 3 koloni dalam setiap variasi konsentrasi. Tumbuhan akan dipaparkan limbah selama 7 hari

3.5. PELAKSANAAN PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan variasi jenis tumbuhan, variasi konsentrasi berdasarkan sumber dari proses pembuatan tempe, dan variasi waktu pemaparan. Waktu pemaparan merupakan waktu lamanya tumbuhan air terpapar dengan air limbah. Waktu ini juga digunakan sebagai waktu pengambilan sampling limbah cair dalam reaktor untuk dianalisis. Variasi waktu pemaparan limbah cair tempe dengan tumbuhan adalah 5, 10, 15, dan 20 hari. Variasi konsentrasi yang digunakan berdasarkan hasil *RFT*.

Variasi tumbuhan yang digunakan adalah *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus*. Tumbuhan *Cyperus rotundus L* ditanam ke dalam 16 reaktor (12 reaktor uji dan 4 reaktor kontrol) dan *Scirpus grossus* ditanam ke dalam 16 reaktor (12 reaktor uji dan 4 reaktor uji) dengan variasi konsentrasi dan waktu pemaparan yang berbeda. Untuk reaktor kontrol dalam penelitian ini menggunakan masing-masing tumbuhan dengan media tanam tanpa limbah cair tempe. Sehingga skema penanaman tiap reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.2.





Gambar 3.6 Skema Penanaman Tumbuhan di Reaktor

3.6. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan penelitian, media tanam dianalisis sesuai dengan parameter-parameter yang ditentukan, yakni BOD, COD dan TSS. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dilakukan pengolahan data hasil analisis. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel dan gambar untuk mempermudah pembahasan.

3.6.1. Analisis Parameter COD

Analisis COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air limbah. *Chemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik dalam limbah melalui reaksi kimiawi yang akan diubah menjadi CO_2 dan H_2O. Metode Uji yang digunakan yaitu metode refluks tertutup sesuai dengan SNI 6989.73:2009. Analisis COD dilakukan pada sampel yang diambil dari beberapa titik yang berada dalam reaktor dan kemudian dihomogenkan dengan cara mengaduknya. Pengambilan sampel untuk uji analisis COD diambil dari beberapa titik yang berada didaerah outlet yang kemudian dihomogenkan. Pengambilan sampel dilakukan selama 5 hari sekali (hari ke-5, 10, 15, dan 20).

3.6.2. Analisis Parameter BOD

Uji analisis BOD bertujuan untuk menghitung kebutuhan oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mendegradasi zat organik yang ada pada limbah. Uji BOD digunakan untuk menentukan kekuatan pencemar dari limbah domestik dan limbah industri, dalam arti oksigen yang akan dibutuhkan bila limbah tersebut dibuang ke lingkungan dalam kondisi aerobik. Uji ini merupakan salah satu uji terpenting dalam pengawasan aktivitas pencemaran sungai. Dengan mengetahui nilai BOD memungkinkan untuk menentukan tingkat pencemaran air lingkungan setiap waktu (Wardhana,2001).

Nilai BOD ini juga dipakai untuk mengukur kemelimpahan limbah organik dalam upaya perencanaan perlakuan biologis dan evaluasi efisiensi sistem perlakuan penanggulangan limbah organik. Perubahan kandungan bahan organik ini dinyatakan dengan nilai BOD akan terjadi pada setiap proses pembersihan

sendiri pada sungai yang tercemar oleh limbah organik (Hammer, 1997). Pengujian parameter dilakukan dengan metode 5-days BOD test. Pengambilan sampel yang dilakukan sama dengan analisis COD yaitu dengan menghomogenkan beberapa titik di daerah outlet reaktor yang dilakukan setiap 5 hari sekali.

3.6.3. Analisis Rasio BOD/COD

Analisis Rasio BOD/COD dilakukan untuk mengetahui tingkat biodegradibilitas zat organik yang terkandung pada limbah. Air limbah yang bersifat stabil memiliki rasio BOD/COD kurang dari 0,1 dan jika lebih dari 0,1 maka air limbah memiliki sifat *biodegradable* (Mangkoedihardjo, 2010). Nilai COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air secara kimiawi. Jika bahan organik yang belum diolah dibuang ke badan perairan, maka bakteri akan menggunakan oksigen untuk proses pembusukannya. Nilai COD biasanya lebih tinggi dari pada nilai BOD karena bahan buangan yang dapat dioksidasi melalui proses kimia lebih banyak dari pada bahan buangan yang dapat dioksidasi melalui proses biologi.

3.6.4. Analisis pH dan Suhu

a. Analisis pH

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui nilai pH yang ada dengan menggunakan pH meter dengan cara menaruh ujung pH meter kedalam media tanam dan tunggu hingga angka pada pH meter tidak berkedipkedip. Analisis ini dilakukan setiap hari selama waktu penelitian.

b. Analisis Suhu

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui suhu yang ada pada air limbah cair tempe dengan termometer suhu. Penggunaannya adalah dengan menaruh ujung termometer ke dalam media tanam dan tunggu hingga air raksa yang menunjukkan suhu tersebut tidak bergerak. Analisis ini dilakukan setiap hari selama waktu penelitian.

3.6.5. Analisis Kondisi Tumbuhan

Analisis pertumbuhan dilakukan dengan melihat perubahan dari tinggi tanaman, warna batang, warna daun, lebar daun selama periode penelitian. Analisis yang dilakukan berupa tinggi tumbuhan dengan menggunakan penggaris, serta pengidentifikasian warna tumbuhan. Menurut (Mangkoedihardjo & Samudro, 2010), formulasi pertumbuhan tumbuhan dinyatakan sebagai berikut:

$$GR = (Nt – No) / (t – 0) – dN/dt$$

Keterangan:
GR = Rata-rata pertumbuhan
Nt = Ukuran tumbuhan pada waktu t
No = Ukuran tumbuhan pada waktu awal

3.6.6. Analisis Berat Kering

Analisis berat kering bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa organik ataupun biomassa tumbuhan. Berat kering didapat dari berat tumbuhan (akar, daun, dan batang) setelah dipanaskan di dalam oven 105°C selama minimal 24 jam. Menurut Mangkoedihardjo, 2010 pengukuran tersebut kadar air tumbuhan sebesar:

$$Sap = BB – BK$$

Keterangan:
Sap = Kadar air
BB = Berat Basah
BK = Berat Kering

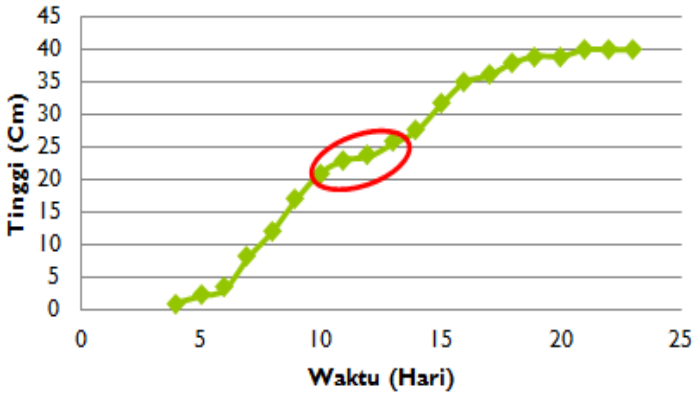
3.7. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini diuraikan secara jelas dan mudah dipahami serta menjawab tujuan penelitian.

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

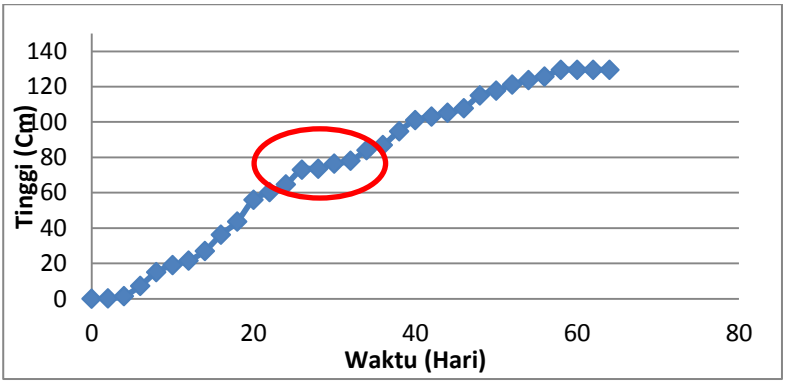
4.1. TAHAP PROPAGASI DAN AKLIMATISASI

Tahap perbanyakan tumbuhan bertujuan untuk menyediakan tumbuhan yang cukup untuk digunakan pada tahap-tahap penelitian. Serta sebagai langkah awal untuk mengetahui laju pertumbuhan dari tumbuhan yang akan digunakan. Pada tahap perbanyakan ini, tumbuhan ditanam pada reaktor berupa ember dengan media berupa tanah taman dan diamati pertumbuhannya. Selama tahap perbanyakan tumbuhan diletakkan pada ruang yang cukup terkena sinar matahari namun tidak langsung terpapar oleh matahari. Penyiraman dilakukan setiap sore hari secara rutin. Hal ini dilakukan agar tumbuhan dapat tumbuh dengan subur dan dapat berkembang biak dengan baik. Pada tahap ini dapat dipilih umur dan karakteristik tumbuhan yang akan digunakan pada tahap *Range Finding Test* dan *Phytotreatment*. Pengamatan pertumbuhan tumbuhan dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Umur *Cyperus rotundus L* yang digunakan dalam proses *Phythotreatment*

Berdasarkan Gambar 4.1, tumbuhan *Cyperus rotundus L* yang digunakan adalah tanaman dengan umur sekitar 15 hari dan memiliki warna hijau segar serta memiliki tinggi sekitar 20-30 cm.



Gambar 4.2 Umur *Scirpus grossus* yang digunakan dalam proses *Phytotreatment*

Berdasarkan Gambar 4.2, tumbuhan *Scirpus grossus* dipilih dengan umur 30 hari, yang memiliki karakteristik warna hijau segar dengan tinggi sekitar 50-60cm.

(a) **(b)**

Gambar 4.3 Pertumbuhan Tunas (a) *Scirpus grossus*, (b) *Cyperus rotundus L*

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2017

Pada Gambar 4.3 merupakan tahap propagasi, dimana pada propagasi terdapat tunas baru serta pertambahan panjang tanaman dimana tanaman yang panjangnya sama serta dengan panjang sekitar 20 cm – 30 cm untuk *Cyperus rotundus L* dan dengan panjang 50 cm – 60 cm untuk tumbuhan *Scirpus grossus* yang digunakan pada setiap penelitian.

Tahap aklimatisasi bertujuan untuk menyesuaikan biota uji yang akan dipakai dengan lingkungan tanam yang akan digunakan dalam uji *Phytotreatment.* Pada saat uji

Phytotreatment tumbuhan telah beradaptasi dengan kondisi reaktor yang digunakan.

Pada tahap aklimatisasi suhu air juga perlu dijaga agar tidak terlalu terpapar langsung sinar matahari karena dapat mengakibatkan daun tumbuhan menjadi kuning dan layu. Pada tahap aklimatisasi yang diperhatikan hanya parameter suhu air dan kondisi fisik dari tumbuhan.

4.2. UJI KARAKTERISTIK LIMBAH AWAL

Limbah yang digunakan pada penelitian ini berasal dari industri tempe rumahan di daerah Rungkut kota Surabaya. Terdapat 3 jenis limbah yang digunakan yaitu limbah dari proses perebusan, proses perendaman dan campuran dari proses perebusan dan perendaman. Karakteristik limbah yang dianalisis meliputi BOD, COD, TSS, pH,dan suhu seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik Limbah Cair Tempe

Parameter	Satuan	Nilai			
		Limbah Rebus	Limbah Campur	Limbah Rendam	Baku Mutu
BOD_5	mg/L	19048	17021	13158	150
COD	mg/L	36000	32000	26000	300
TSS	mg/L	1340	1275	1190	100
pH	-	6,12	4,62	4,18	6-9
Suhu	ºC	31	31	31	29-31

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa limbah cair tempe memiliki kandungan BOD, COD dan TSS yang melebihi baku mutu limbah pengolahan kedelai menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dengan batas BOD_5 adalah 150 mg/L, COD sebesar 300 mg/L dan TSS sebesar 100 mg/L.

4.3. *RANGE FINDING TEST (RFT)*

Range finding test adalah tahapan yang bertujuan menentukan konsentrasi limbah cair tempe yang tidak memberikan efek terhadap tumbuhan. Pada uji *RFT* ini digunakan variasi konsentrasi 0%, 10%, 25%, 50%, 75%, 100%. Jumlah

tumbuhan yang digunakan berdasarkan densitas masing-masing tumbuhan sesuai perhitungan berikut:

Massa *Cyperus rotundus L* = Densitas *Cyperus rotundus L* x Volume media
= 0,6 x 10^{-2}g/cm^3 x 3000 cm^3
= 18 gram

Jumlah *Cyperus rotundus L* $= \frac{\text{massa } Cyperus\ rotundus\ L}{\text{berat basah } Cyperus\ rotundus\ L}$
$= \frac{18 \text{ gr}}{6{,}2 \text{ gr}}$ = 2,9 = 3 koloni

Massa *Scirpus grossus* = Densitas *Scirpus grossus* x Volume Media
= 6,27 x 10^{-2}g/cm^3 x 3000 cm^3
= 188,1 gr

Jumlah *Scirpus grossus* $= \frac{\text{massa } Scirpus\ grossus}{\text{berat basah } Scirpus\ grossus}$
$= \frac{188{,}1 \text{ gr}}{45 \text{ gr}}$ = 4,18 = 4 tumbuhan

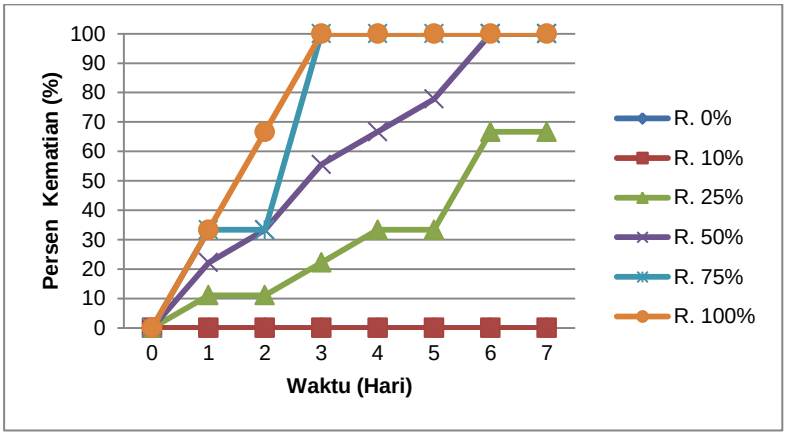
Berdasarkan perhitungan tersebut, pada uji RFT jumlah *Cyperus rotundus L* yang ditanam dalam setiap pot adalah 3 tumbuhan, sedangkan untuk *Scirpus grossus* adalah 4 tumbuhan.

4.3.1. RFT *Cyperus rotundus L*

Pada tahap RFT ini ditentukan konsentrasi yang tidak memberikan efek pada pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Hasil pengamatan RFT untuk tumbuhan *Cyperus rotundus L* dapat dilihat pada Lampiran B. Pada penelitian ini, yang dimaksud dengan tumbuhan mampu bertahan adalah tumbuhan yang tidak menunjukkan adanya perubahan fisik, yaitu daun tumbuhan tetap berwarna hijau dan batangnya tetap segar. Berdasarkan pada hasil pengamatan RFT pada Lampiran B dapat dilihat efek dari adanya pemaparan konsentrasi limbah 100% limbah rebusan, campuran, dan rendaman menyebabkan daun, batang dan akar semua koloni tanaman menguning dan mengering yang menandakan tanaman tidak dapat tumbuh dan mulai mati. Pada pemaparan 3 hari dengan konsentrasi limbah 75% dan 50% untuk jenis limbah rebusan, campuran dan rendaman menunjukkan adanya perubahan warna daun tanaman, yaitu mulai menguning. Pada pemaparan 4 hari dengan konsentrasi limbah 25% untuk jenis limbah rebusan dan

campuran, daun tanaman juga mulai menguning, berbeda dengan konsentrasi 25% untuk jenis limbah rendaman, tanaman tetap tampak segar dan tidak terjadi perubahan pada tanaman.

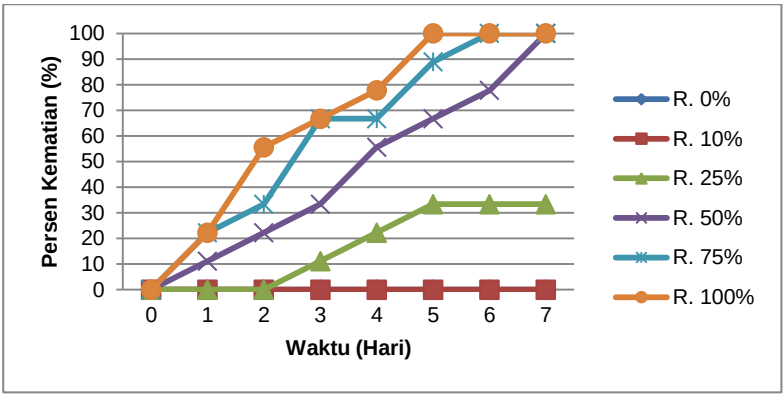
Pada pemaparan 7 hari, konsentrasi limbah 10% untuk jenis limbah rebusan dan campuran tidak terjadi perubahan warna pada daun dan batang. Daun tumbuhan tetap segar dan berwana hijau terang. Begitu juga dengan konsentrasi 25% untuk jenis limbah rendaman, tidak terjadi perubahan pada batang dan daun. Daun tumbuhan tetap segar dan berwarna hijau terang sama kondisinya seperti tumbuhan pada reaktor kontrol (konsentrasi limbah 0%). Berdasarkan pengamatan selama 7 hari, dapat disimpulkan bahwa pada limbah rebusan dengan konsentrasi 10%, limbah campuran konsentrasi 10% dan limbah rendaman konsentrasi 25%, tumbuhan *Cyperus rotundus L* dapat bertahan dan tetap hidup. Respon *Cyperus rotundus L* terhadap pemaparan limbah cair tempe selama 7 hari dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Persen Kematian *Cyperus rotundus L* pada Limbah Rebusan

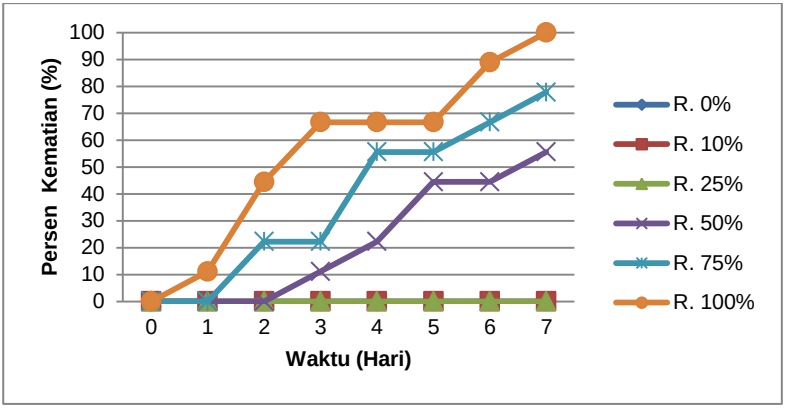
Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa konsentrasi limbah yang tidak menyebabkan dampak pada tumbuhan adalah 10% untuk limbah rebusan tempe. Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa konsentrasi limbah yang tidak menyebabkan dampak pada tumbuhan adalah 10% untuk limbah campuran tempe.



Gambar 4.5 Persen Kematian *Cyperus rotundus L* pada Limbah Campuran

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.6 Persen Kematian *Cyperus rotundus L* pada Limbah Rendaman

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa konsentrasi limbah yang tidak menyebabkan dampak pada tumbuhan adalah 25% untuk limbah rendaman tempe. Efek kematian tumbuhan *Cyperus rotundus L* dapat dilihat warna daun dan batang tumbuhan yang rusak dibandingkan dengan tumbuhan pada reaktor kontrol. Dampak layu dan kering yang terjadi pada tumbuhan yang terpapar limbah dengan konsentrasi berlebih, menyebabkan tumbuhan mengalami kerusakan jaringan daun, daun menguning dan mengering, pertumbuhan batang

terhambat dan terganggunya proses fotosintesis sehingga dapat menyebabkan efek kematian pada tumbuhan .

4.3.2. RFT *Scirpus grossus*

Pada tahap RFT untuk tumbuhan *Scirpus grossus* dipaparkan limbah cair tempe dengan konsentrasi 0%, 10%, 25%, 50%, 75%, 100%. Volume limbah yang digunakan sebanyak 3 liter, jumlah koloni tumbuhan yang digunakan adalah 3 tumbuhan dalam setiap variasi konsentrasi. Tumbuhan akan dipaparkan limbah selama satu minggu (7 hari). Hasil pengamatan RFT untuk *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Lampiran B.

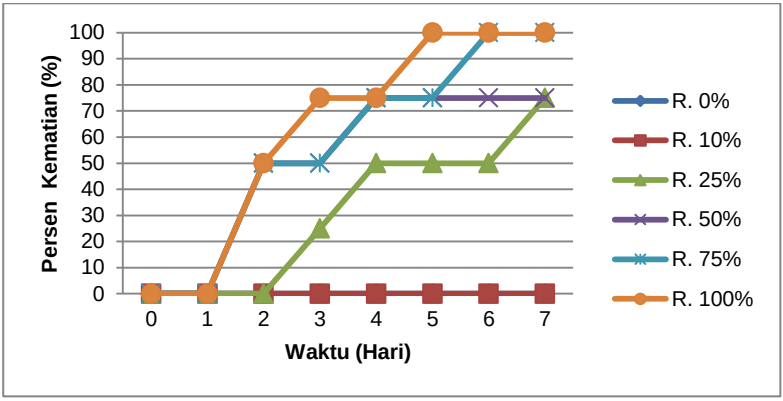
Berdasarkan pada hasil pengamatan RFT pada Lampiran B dapat dilihat efek dari adanya pemaparan konsentrasi limbah 100% untuk limbah rebusan, campuran dan rendaman menyebabkan daun, batang dan akar semua koloni tanaman menguning dan mengering yang menandakan tanaman tidak dapat tumbuh dengan baik dan mulai mati. Selama 2 hari pemaparan limbah dengan konsentrasi 100%, 75%, 50% untuk limbah rebusan, campuran dan rendaman menunjukkan adanya perubahan fisik pada daun tanaman. Perubahan itu adalah daun tampak layu dan menguning. Selama 4 hari pemaparan limbah konsentrasi 25% untuk jenis limbah rebusan dan campuran, daun tanaman juga mulai layu dan mulai menguning.

Tumbuhan yang terpapar limbah dengan konsentrasi 25% limbah rendaman, tanaman tetap tampak segar dan tidak terjadi perubahan pada tanaman. Yang dimaksud dengan tumbuhan mampu bertahan adalah tidak memberikan dampak bagi tumbuhan, yaitu daun tumbuhan tetap berwarna hijau dan batangnya tetap segar. Selama pemaparan 7 hari dengan konsentrasi limbah 10% untuk limbah rebusan dan campuran tidak terjadi perubahan pada daun dan batang, daun tumbuhan tetap segar dan berwana hijau terang. Begitu juga dengan konsentrasi 25% untuk jenis limbah rendaman, daun tumbuhan tetap segar dan berwarna hijau terang sama kondisinya seperti tumbuhan pada reaktor kontrol (konsentrasi limbah 0%).

Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa pada konsentrasi limbah rebusan 10%, konsentrasi limbah campuran 10% dan konsentrasi limbah rendaman 25%, tumbuhan *Scirpus*

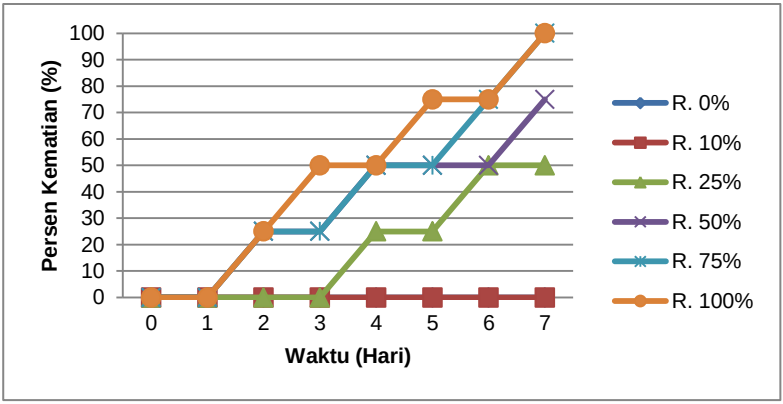
grossus dapat digunakanpada tahap penelitian selanjutnya (Phytotreatment).

Respon *Scirpus grossus* terhadap pemaparan limbah cair tempe selama 7 hari dapat dilihat pada Gambar 4.7 sampai dengan Gambar 4.9.



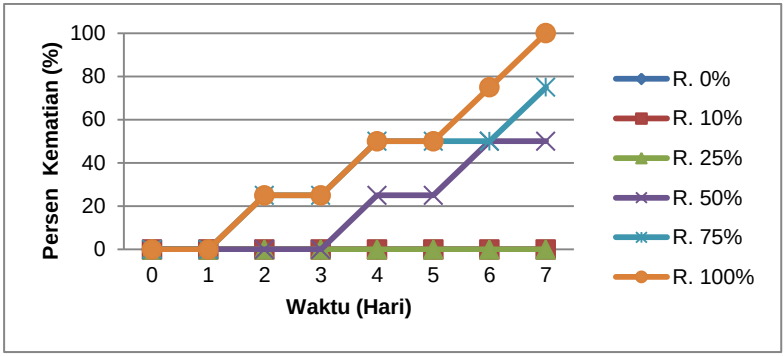
Gambar 4.7 Persen Kematiaan *Scirpus grossus* pada Limbah Rebusan

Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa konsentrasi limbah yang tidak menyebabkan dampak pada tumbuhan adalah 10% untuk limbah rebusan tempe.



Gambar 4.8 Persen Kematian *Scirpus grossus* pada Limbah Campuran

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa konsentrasi limbah yang tidak menyebabkan dampak pada tumbuhan adalah 10% untuk limbah campuran tempe.



Gambar 4.9 Persen Kematian *Scirpus grossus* pada Limbah Rendaman

Berdasarkan Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa konsentrasi limbah yang tidak menyebabkan dampak pada tumbuhan adalah 25% untuk limbah rendaman tempe.

Berdasarkan hasil RFT, dapat digambarkan persen tumbuhan yang mati pada setia jenis air limbah terhadap tumbuhan *Scirpus grossus* seperti yang digambarkan pada Gambar 4.7 sampai Gambar 4.9. Berdasarkan pada Gambar 4.7 sampai dengan 4.9, konsentrasi limbah yang tidak menyebabkan dampak pada tumbuhan adalah 10% untuk limbah rebusan, 10% untuk limbah campuran dan 25% untuk limbah rendaman tempe. Efek kematian tumbuhan *Scirpus grossus* dapat dilihat dari warna daun (kuning/ coklat) dan batang tumbuhan yang rusak dibandingkan dengan tumbuhan pada reaktor kontrol.

Berikut merupakan contoh pehitungan analisa beban per tumbuhan dengan masing-masing jenis limbah:

Diketahui konsentrasi limbah yaitu 10%

- BOD = 3000 mg/L
- Volume = 6 L

Perhitungan:

- Beban tumbuhan = Volume air x BOD awal
  = 6 L x 3000mg/L
  = 18000 mg

- Kemampuan tiap tumbuhan = $\frac{18000mg}{9\ x\ 1,1}$
  = 1818 kg
  = 1,8 gramBOD/gram

Adapun analisa beban per tumbuhan dengan masing-masing jenis limbah dari hasi RFT dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Beban per Tumbuhan *Cyperus rotundus L*

Reaktor	BOD (gramBOD/gram)	COD (gramCOD/gram)	TSS (gramTSS/gram)
Rebusan	1,8	1,9	1,9
Campuran	1,7	2,4	2,0
Rendaman	1,7	2,1	1,4

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 4.3 Beban per Tumbuhan *Scirpus grossus*

Reaktor	BOD (gramBOD/gram)	COD (gramCOD/gram)	TSS (gramTSS/gram)
Rebusan	1,3	2,5	2,2
Campuran	1,0	1,6	1,6
Rendaman	1,4	1,6	1,5

Sumber: Hasil Analisis

4.4. UJI *PHYTOTREATMENT*

Penelitian utama dilakukan setelah tahap aklimatisasi selesai, yaitu selama 4 hari. *Phytotreatment* dilakukan dengan menambahkan air limbah tempe dengan konsentrasi 10% untuk limbah rebusan, 10% untuk limbah campuran dan 25% untuk limbah rendaman pada masing-masing reaktor yang telah disiapkan.

Phytotreatment ini dilakukan dengan variasi jenis tumbuhan, jenis limbah dan waktu tinggal. Jenis tumbuhan yang digunakan adalah *Cyperus rotundus L* dan *Scirpus grossus*, jenis limbah yang digunakan adalah limbah dari hasil proses rebusan, rendaman dan campuran dari hasil rebusan dan rendaman. Waktu tinggal yang digunakan adalah 5 hari, 10 hari, 15 hari, dan 20 hari. Pada tahap ini menggunakan 19 reaktor (masing-masing waktu tinggal menggunakan 4 reaktor, 3 reaktor limbah, 1 reaktor kontrol tumbuhan dan ditambah dengan 3 reaktor kontrol limbah). Reaktor dioperasikan dengan sistem Batch dengan volume limbah yang digunakan adalah 6 liter dan tinggi media pasir

10cm. Parameter yang dianalisis adalah COD, BOD, TSS, Suhu dan pH. Pengamatan dilakukan kurang lebih selama 20 hari.

Untuk menentukan jumlah tumbuhan dalam reaktor *Phytotreatment* menggunakan persamaan beban volume limbah yang dapat dilihat pada penjelasan berikut:

- Reaktor *Cyperus* rotundus *L*
  Vol. air limbah pada tahap RFT = 2 liter
  Jumlah tumbuhan pada tahap RFT= 9 tumbuhan (3 koloni)
  Volume air limbah pada tahap *phytotreatment* = 6 liter

Jumlah tumbuhan pada tahap *phytotreatment*

$$= \frac{9\ tumbuhan}{2\ liter}\ x\ 6\ liter$$

= 27 tumbuhan (9 koloni)

- Reaktor *Scirpus grossus*
  Volume air limbah pada tahap RFT = 3 liter
  Jumlah tumbuhan pada tahap RFT= 4 tumbuhan
  Volume air limbah pada tahap *phytotreatment* = 8 liter
  Jumlah tumbuhan pada tahap *phytotreatment*

$$= \frac{4\ tumbuhan}{3\ liter}\ x\ 8\ liter$$

= 10,667 tumbuhan ≈ 11 tumbuhan

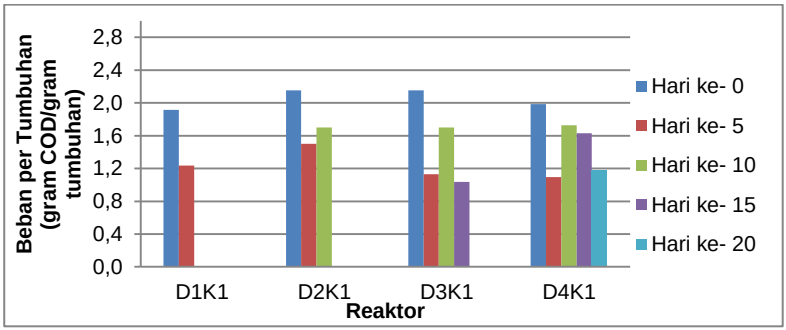
4.4.1. *Cyperus rotundus L.*

4.4.1.1. Analisis Parameter COD

Sampel untuk analisis COD hanya dilakukan untuk reaktor yang memiliki kontaminan air limbah tempe, sedangkan untuk reaktor kontrol tumbuhan dan media dengan air PDAM tidak dilakukan analisis. Karena tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui beban limbah cair tempe yang mampu diserap oleh tumbuhan. Pengambilan sampel dilakukan pada hari ke- 0, 5, 10, 15, dan 20. Analisis beban COD pada masing-masing reaktor berdasarkan jenis limbah dapat dilihat pada Gambar 4.10 hingga Gambar 4.12.

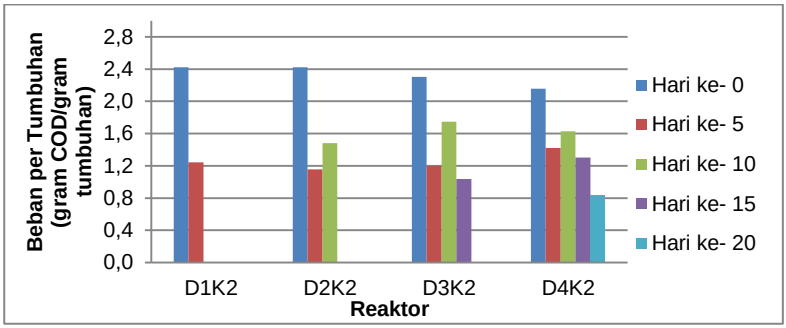
Berdasarkan Gambar 4.10, dapat dilihat bahwa pada hari ke-5 penelitian, beban COD pada limbah rebusan dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus L.* mengalami penurunan sebesar 0,7 - 1,0 gramCOD/ gram tumbuhan , pada hari ke- 10 mengalami penurunan sebesar 0,3 - 0,5

gramCOD/gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban COD semakin meningkat yakni sebesar 0,4 - 1,1 gramCOD/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 0,8 gramCOD/gram tumbuhan.



Gambar 4.10 Beban COD per Tumbuhan pada Limbah Rebusan dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.*

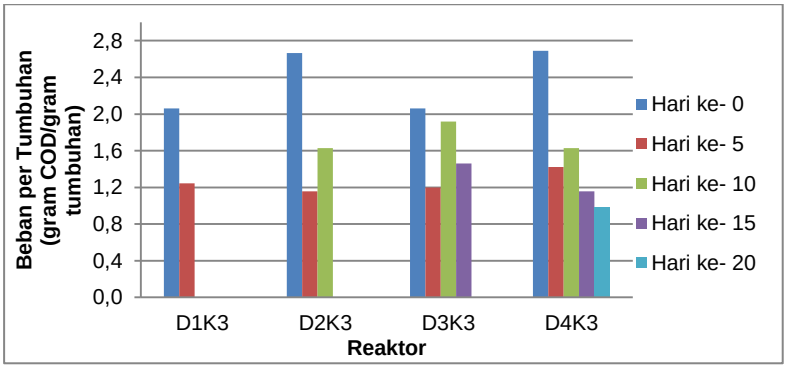
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.11 Beban COD per Tumbuhan pada Limbah Campuran dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar 4.11, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban COD pada limbah campuran dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus L.* mengalami penurunan sebesar 0,7 - 1,3 gramCOD/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,5 - 0,9 gramCOD/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban COD semakin meningkat yakni sebesar 0,9 - 1,3 gramCOD/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 1,3 gramCOD/gram tumbuhan.



Gambar 4.12 Beban COD per Tumbuhan pada Limbah Rendaman dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar 4.12, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban COD pada limbah rendaman dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus L.* mengalami penurunan sebesar 0,8 - 1,5 gramCOD/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,1 - 1,1 gramCOD/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban COD semakin meningkat yakni sebesar 1,3 - 2,6 gramCOD/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 1,7 gramCOD/gram tumbuhan.

Pada penelitian ini pada rentang hari ke-10 sampai dengan hari ke- 15 terjadi penurunan kemampuan tumbuhan dalam menyerap beban COD pada tumbuhan, dikarenakan tumbuhan yang mulai jenuh sehingga tidak dapat lagi menyerap beban COD dalam limbah. Tumbuhan jenuh dalam hal ini dapat dilihat dari berat kering tumbuhan yang menurun dikarenakan tumbuhan yang mulai menguning. Namun pada rentang hari ke-15 hingga hari ke- 20 kemampuan tumbuhan dalam menyerap beban COD kembali naik dikarenakan mulai tumbuhnya tunas-tunas baru yang menyerap kembali beban COD pada air limbah.

Pada penelitian ini dilakukan juga analisis terhadap media yang digunakan yakni dengan menambahkan reaktor kontrol limbah yang berisi media dan limbah (tanpa tumbuhan). Hasil analisis penurunan konsentrasi COD pada reaktor kontrol limbah dapat dilihat pada Lampiran B. Pada penelitian ini, dapat dikatakan bahwa media yang digunakan sangat mempengaruhi penurunan konsentrasi COD dilihat dengan persen penurunan COD pada reaktor kontrol limbah rebusan sebesar 33,7%, pada

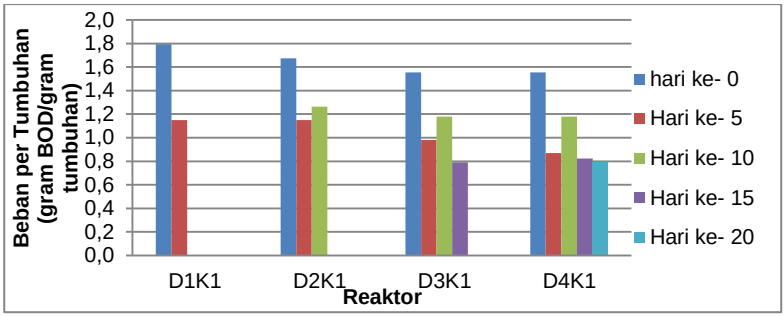
limbah campuran sebesar 36,8% dan pada limbah rendaman sebesar 31,5%. Oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya disarankan agar meneliti media yang digunakan.

Prinsip kerja sistem yang dilakukan yaitu dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran (*Rhizosphere*) tumbuhan tersebut (Ningsih, 2017).Tumbuhan mempunyai peranan yang penting dalam proses pembersihan limbah karena akar tumbuhan merupakan tempat melekatnya bakteri (Khiatuddin, 2003).

4.4.1.2. Analisis Parameter BOD

Uji analisis BOD bertujuan untuk menghitung kebutuhan oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mendegradasi zat organik yang ada pada limbah. Uji BOD digunakan untuk menentukan kekuatan pencemar dari limbah domestik dan limbah industri, dalam arti oksigen yang akan dibutuhkan bila limbah tersebut dibuang ke lingkungan dalam kondisi aerobik. Uji ini merupakan salah satu uji terpenting dalam pengawasan aktivitas pencemaran sungai. Dengan mengetahui nilai BOD memungkinkan untuk menentukan tingkat pencemaran air lingkungan setiap waktu (Wardhana, 2001).

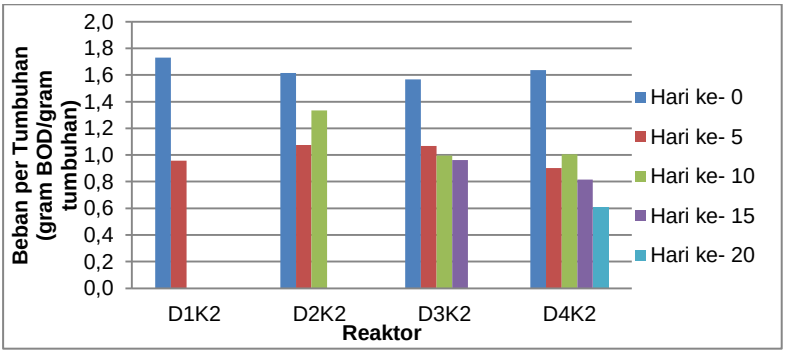
Hasil penelitian uji laboratorium dapat dilihat pada Lampiran B. Berdasarkan hasil analisis BOD yang telah dilakukan dapat dilihat konsentrasi BOD pada Lampiran B, sedangkan beban BOD per tumbuhan berdasarkan jenis limbah dapat dilihat pada Gambar 4.13 sampai dengan Gambar 4.15.



Gambar 4.13 Beban BOD per Tumbuhan pada Limbah Rebusan dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar 4.13, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban BOD pada limbah rebusan dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus L.* mengalami penurunan sebesar 0,5 - 0,6 gramBOD/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,4 gramBOD/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban BOD semakin meningkat yakni sebesar 0,7 - 0,8 gramBOD/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 0,8 gramBOD/gram tumbuhan

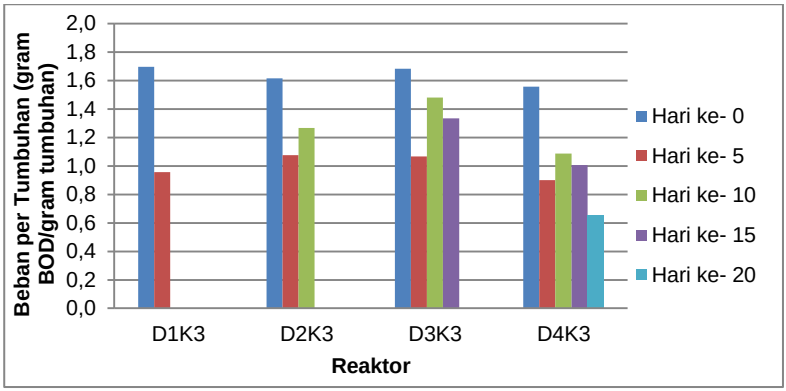


Gambar 4.14 Beban BOD per Tumbuhan pada Limbah Campuran dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar 4.14, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban BOD pada limbah campuran dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus L.* mengalami penurunan sebesar 0,5 - 0,8 gramBOD/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,4 - 0,6 gramBOD/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban BOD semakin meningkat yakni sebesar 0,6 - 0,8 gramBOD/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 1,0 gramBOD/gram tumbuhan

Berdasarkan Gambar 4.15, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban BOD pada limbah rendaman dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus L.* mengalami penurunan sebesar 0,5 - 0,7 gramBOD/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,2 - 0,5 gramBOD/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban BOD semakin meningkat yakni sebesar 0,4 - 0,6 gramBOD/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 0,9 gramBOD/gram tumbuhan.



Gambar 4.15 Beban BOD per Tumbuhan pada Limbah Rendaman dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis dapat dilihat bahwa pada rentang hari ke-10 sampai dengan hari ke- 15 terjadi penurunan kemampuan tumbuhan dalam menurunkan beban BOD, dikarenakan tumbuhan yang mulai jenuh dalam menyerap beban BOD pada air limbah. Namun pada rentang hari ke- 15 hingga hari ke- 20, kemampuan tumbuhan dalam menyerap beban BOD pada air limbah kembali naik ditunjukkan beban BOD yang semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh pada mulai tumbuh tunas-tunas baru tumbuhan yang dapat menyerap beban BOD kembali.

Pada penelitian ini dilakukan juga analisis terhadap media yang digunakan yakni dengan menambahkan reaktor kontrol limbah yang berisi media dan air limbah. Hasil dari penurunan konsentrasi BOD pada reaktor kontrol limbah dapat dilihat pada Lampiran B. Dari hasil analisis dapat dilihat bahwa media yang digunakan mempengaruhi penurunan konsentrasi BOD pada air limbah, dilihat dengan besarnya penurunan konsentrasi BOD yang terjadi pada reaktor kontrol limbah. Adapun besar penurunan konsentrasi BOD pada reaktor kontrol limbah yakni untuk limbah rebusan sebesar 32,9%, untuk limbah campuran sebesar 42,4%, dan limbah rendaman sebesar 40,1%.

Hal ini terjadi penurunan beban BOD karena adanya hubungan sinergi terhadap tumbuhan dalam menurunkan zat organik dalam reaktor fitoremediasi, sehingga menyebabkan konsentrasi BOD dalam reaktor tersebut mengalami penurunan.

Dalam BOD terdapat senyawa organik yang mudah terurai yang dinyatakan dalam nilai BOD serta terdapat pula yang sulit terurai. Senyawa organik mudah terurai yang diasosiasikan dengan padatan tersuspensi yang dapat mengendap lebih banyak daripada yang dapat terlarut. Hal ini karena 80% dari BOD terdiri dari padatan terlarut dan tersuspensi, padatan tersuspensi dapat dibagi menjadi padatan yang dapat mengendap dan yang tidak dapat mengendap (Crites dan Tchobanoglous, 1998). Pada umumnya 60% dari padatan tersuspensi dalam air limbah domestik adalah padatan yang dapat mengendap (Metcalf & Eddy, 2003).

Melalui fitotreatment, proses penurunan pencemar dalam limbah menggunakan tumbuhan merupakan kerjasama antara tumbuhan dan mikroba yang berada pada tumbuhan tersebut (Hayati, 1992). Tumbuhan memegang peranan dalam penyediaan oksigen yang secara prinsip terjadi karena adanya proses fotosintesis. Oksigen akan mengalir ke akar tumbuhan melalui batang setelah berdifusi melalui pori-pori daun sehingga akan terbentuk zona rizosfer yang kaya akan oksigen diseluruh permukaan akar (Suprihatin, 2014).

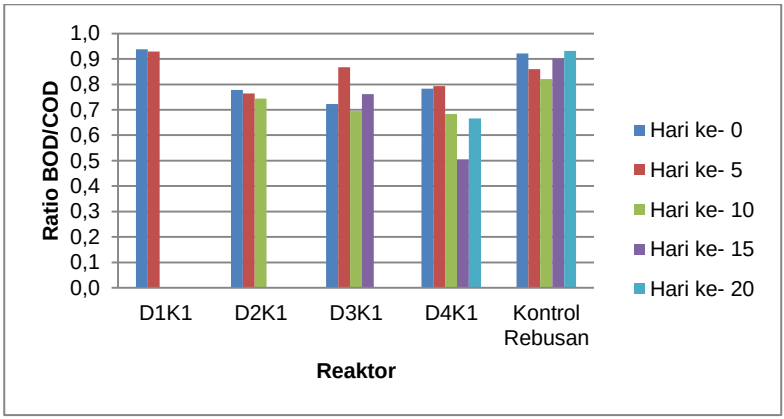
4.4.1.3. Analisis Rasio BOD/COD

Rasio BOD/COD merupakan indikator yang umum digunakan pada derajat biodegradasi air limbah. Rasio BOD/COD yang tinggi cukup dipertimbangkan untuk memastikan biodegradasi. Tingkatan mutu zat organik berbasis proses mikrobial adalah sejalan dengan pengukuran zat organik air limbah melalui pengukuran kebutuhan oksigen mikrobial (BOD) dan kebutuhan oksigen kimiawi (COD).

Tingkat penurunan oleh mikroba dapat dievaluasi dengan rata-rata hasil bagi biodegradabilitas yang terukur sebagai rasio BOD/COD. Rasio BOD/COD antara 0,2 – 0,5 dapat diolah dengan proses biologis, proses dekomposisinya lebih lambat karena mikroorganisme pengurai membutuhkan aklimatisasi dengan limbah tersebut (Putri, Samudro, & Handayani, 2013). Menurut (Srinivas, 2008), rentang rasio BOD/COD jika lebih besar 0,6 bersifat *biodegradable*, pada rentang 0,3-0,6 diperlukan *treatment*, dan jika pada rentang lebih kecil dari 0,3 bersifat *non-biodegradable*.

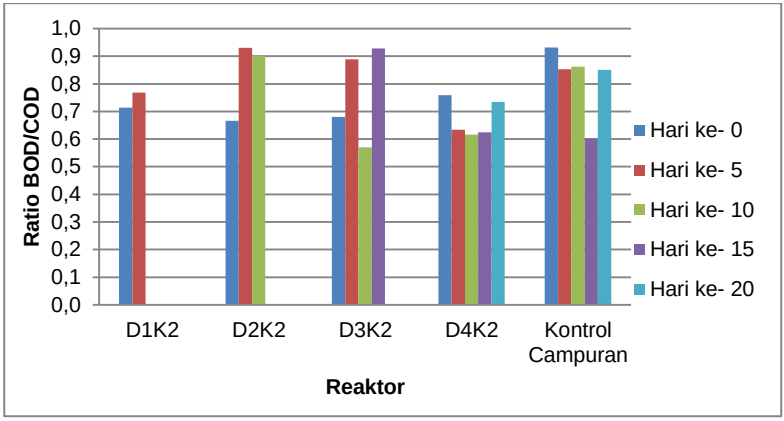
Jika bahan organik yang belum diolah dibuang ke badan perairan, maka bakteri akan menggunakan oksigen untuk proses pembusukannya. Nilai COD biasanya lebih tinggi dari pada nilai BOD karena bahan buangan yang dapat dioksidasi melalui proses kimia lebih banyak dari pada bahan buangan yang dapat dioksidasi melalui proses biologi.

Grafik nilai BOD/COD dapat dilihat pada Gambar 4.16, sampai dengan Gambar 4.18.



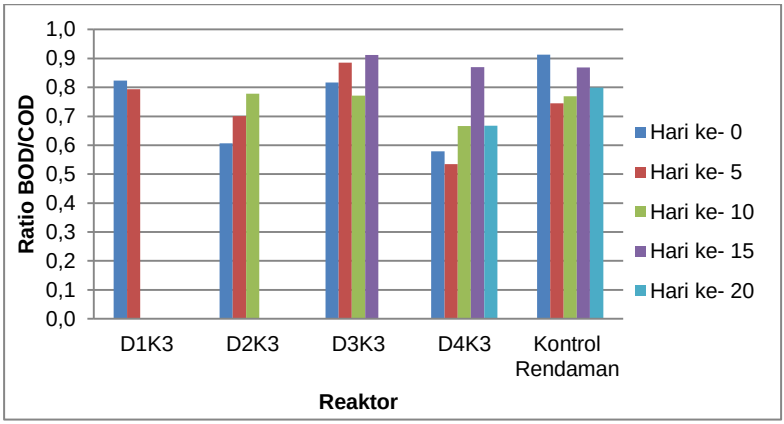
Gambar 4.16 Ratio BOD/COD Limbah Rebusan dengan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.17 Ratio BOD/COD Limbah Campuran dengan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.18 Ratio BOD/COD Limbah Rendaman dengan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.*

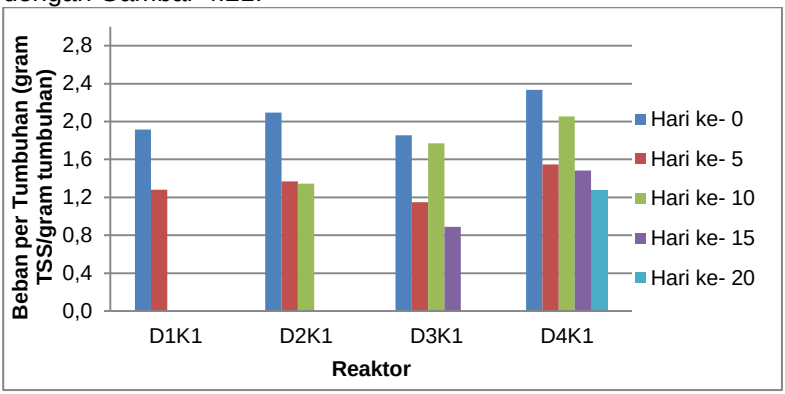
Sumber: Hasil Analisis

Rasio BOD/COD limbah tersebut berada diantara 0,5 – 0,9. Hal ini menandakan bahwa limbah tempe bersifat *biodegradable*. Adanya kenaikan dan penurunan rasio BOD/COD merupakan hasil dari pengadaptasian tumbuhan terhadap bahan pencemar. Berdasarkan data yang disajikan pada Gambar 4.16 hingga Gambar 4.18 rasio BOD/COD mengalami kenaikan pada pengamatan hari ke-10. Hal ini mengindikasikan bahwa pada hari tersebut merupakan zona biodegradasi dimana bahan pencemar dapat diuraikan oleh mikroorganisme, sehingga terbukti terjadi kenaikan penurunan BOD yang menyebabkan penurunan konsentrasi BOD pada rentang waktu tersebut. Tetapi pada pengamatan hari ke- 20 ada beberapa reaktor nilai rasio BOD/COD mengalami penurunan namun masih berada pada rentang sifat *biodegradable* yakni nerkisar antara 0,7 - 0,9. Turunnya rasio BOD/COD dikarenakan penurunan BOD lebih besar dibandingkan dengan penurunan COD. Hal ini membuktikan karena tumbuhan cenderung mengoksidasi senyawa organik *biodegradable* dibandingkan dengan senyawa *non-biodegradable*.

4.4.1.4. Analisis Total Suspended Solid (TSS)

Pada percobaan yang dilakukan terhadap limbah cair tempe menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus* pada akhir percobaan menunjukkan beban TSS per tumbuhan mengalami

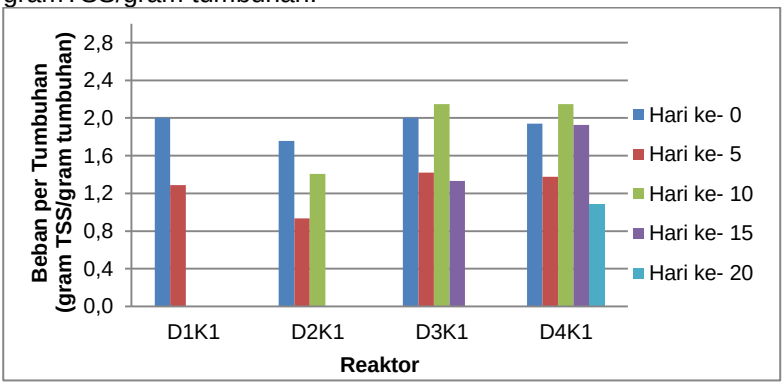
penurunan. Beban TSS per tumbuhan pada masing-masing reaktor selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.19 sampai dengan Gambar 4.21.



Gambar 4.19 Beban TSS per Tumbuhan pada Limbah Rebusan dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis

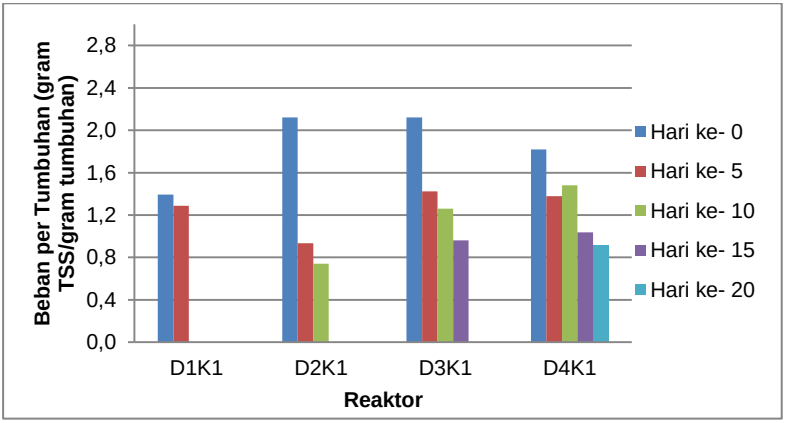
Berdasarkan Gambar 4.19, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban TSS pada limbah rebusan dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus L.* mengalami penurunan sebesar 0,6 - 0,8 gramTSS/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,1 - 0,7 gramTSS/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban TSS semakin meningkat yakni sebesar 0,9 - 1,0 gramTSS/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 1,1 gramTSS/gram tumbuhan.



Gambar 4.20 Beban TSS per Tumbuhan pada Limbah Campuran dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar 4.20, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban TSS pada limbah campuran dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus L.* mengalami penurunan sebesar 0,6 - 0,8 gramTSS/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 1,2 – 1,9 gramTSS/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban TSS semakin meningkat yakni sebesar 0,7-1,0 gramTSS/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 0,9 gramTSS/gram tumbuhan.



Gambar 4.21 Beban TSS per Tumbuhan pada Limbah Rendaman dengan Menggunakan Tumbuhan *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar 4.21, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban TSS pada limbah rendaman dengan menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus L.* mengalami penurunan sebesar 0,1 – 1,2 gramTSS/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,3 – 1,4 gramTSS/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban TSS semakin meningkat yakni sebesar 0,8 -1,2 gramTSS/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 0,9 gramTSS/gram tumbuhan.

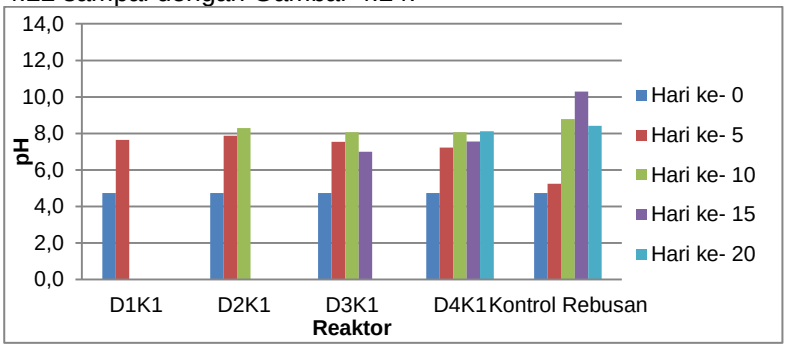
Berdasarkan hasil analisis dapat dilihat bahwa pada rentang hari ke- 10 sampai dengan hari ke- 15 beban TSS pada reaktor kembali naik. Ini dikarenakan tumbuhan yang mulai jenuh sehingga tidak mampu menyerap beban TSS pada air limbah. Namun pada rentang hari ke-15 hingga hari ke- 20, kemampuan tumbuhan kembali naik dilihat dari hasil analisis beban TSS yang kembali turun. Hal ini dikarenakan tumbuhan pada reaktor sudah

mulai muncul tunas-tunas baru, dimana tunas-tunas baru inilah yang menyerap beban TSS pada air limbah.

Pada penelitian ini juga dilakukan analisis terhadap media yang digunakan, yakni dengan menambahkan reaktor kontrol yang berisi media dan air limbah (tanpa tumbuhan). Hasil analisis penurunan konsentrasi pada reaktor kontrol limbah dapat dilihat pada Lampiran B. Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa media yang digunakan pada penelitian ini mempengaruhi penurunan konsentrasi TSS, dilihat dari besar penurunan konsentrasi TSS pada reaktor kontrol limbah. Adapun besar penurunan konsentrasi TSS pada masing-masing reaktor kontrol limbah yakni untuk limbah rebusan sebesar 42,3%, untuk limbah campuran sebesar 42,4% dan limbah rendanan sebesar 42,4%.

4.4.1.5. Analisis pH dan Suhu

Dalam penelitian ini derajat keasaman atau pH digunakan sebagai parameter pendukung yang diamati setiap 5 hari sekali. Analisis pH dan suhu bertujuan untuk mengetahui kondisi keasaman dan suhu air limbah pada tiap reaktor Suhu dan pH diamati sebagai parameter pendukung dalam penelitian ini. Nilai pH selama masa penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.22 sampai dengan Gambar 4.24.

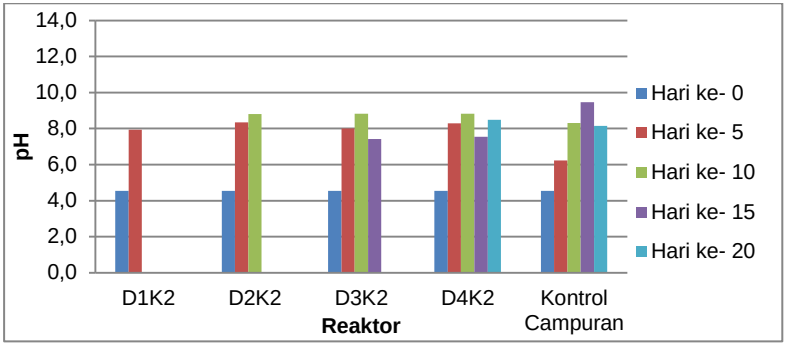


Gambar 4.22 pH Air Limbah Rebusan *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis

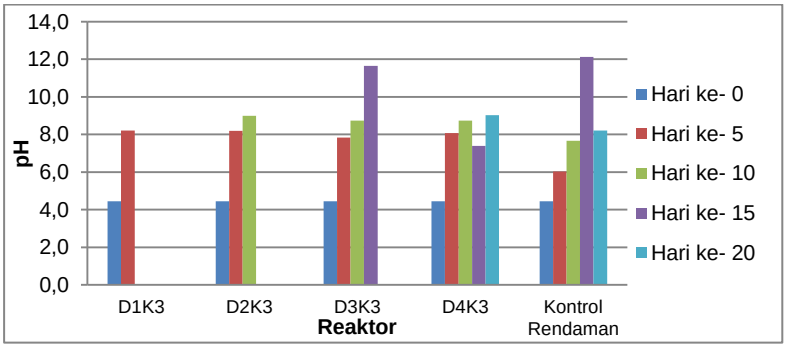
Dalam penelitian ini derajat keasaman atau pH digunakan sebagai parameter pendukung yang diamati setiap pengambilan sampel. pH air limbah cenderung meningkat dan kemudian menurun. Hasil analisis pH yang terlihat pada Gambar

4.22 sampai dengan 4.24 menunjukkan bahwa pH pada air limbah berfluktuasi pada kisaran 7,4 – 9,0. Semakin lama waktu pemaparan, pH masing-masing reaktor menuju ke arah netral. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengolahan air limbah dapat mempengaruhi nilai pH air yang diolah menjadi lebih rendah.



Gambar 4.23 pH Air Limbah Campuran *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis



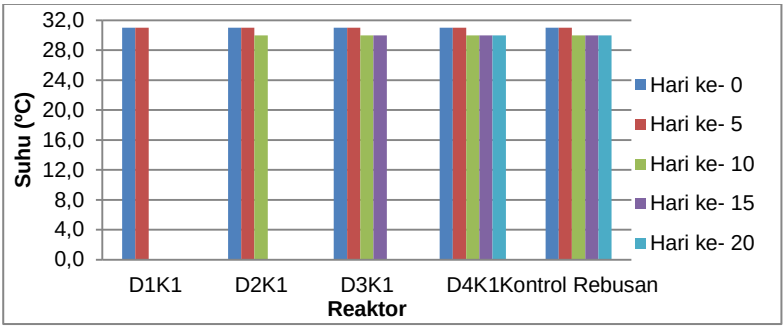
Gambar 4.24 pH Air Limbah Rendaman *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis

Perubahan nilai pH ini disebabkan adanya proses fotosintesis karena pH berkaitan dengan nilai karbondioksida (CO_2) karena nilai pH ini disebabkan karena tumbuhan mengeluarkan CO_2 sebagai hasil samping respirasi saat malam hari yang menyebabkan berkurangnya ion H^+ sehingga kondisi air limbah lebih bersifat basa. Semakin lama konsentrasi BOD dan COD semakin menurun dan mendekati stabil, maka pH menjadi turun dan mendekati netral. Kenaikan pH disebabkan adanya

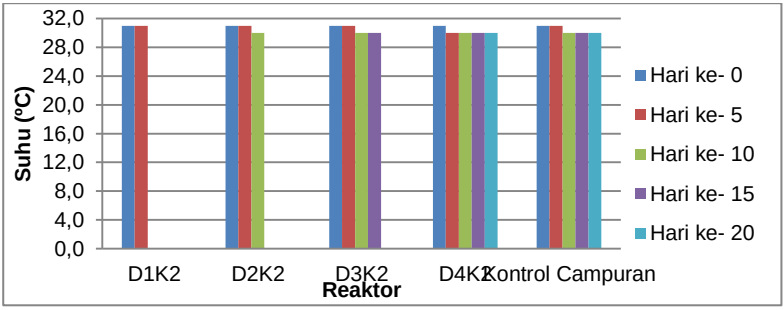
proses fotosintesis, denitrifikasi, pemecahan nitrogen organik dan reduksi sulfat (Kholidiyah, 2010).

Selama penelitian juga dilakukan pengukuran suhu untuk mengetahui suhu air limbah pada tiap reaktor. Suhu air limbah tempe selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.25 sampai dengan Gambar 4.27.



Gambar 4.25 Suhu Air Limbah Rebusan *Cyperus rotundus L.*

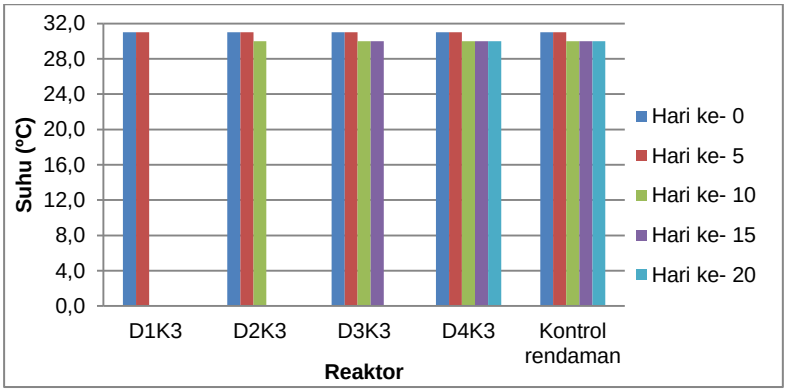
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.26 Suhu Air Limbah Campuran *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis

Suhu memiliki peran dalam proses fotosintesis, sehingga ketika suhu meningkat produksi energi cenderung meningkat pula. Namun suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein enzim, sehingga mempengaruhi penyerapan mineral. Sedangkan jika suhu terlalu rendah dapat menyebabkan pertumbuhan menjadi lambat bahkan berhenti, karena kinerja enzim juga dipengaruhi oleh suhu. Pada suhu yang sangat rendah proses fotosintesis juga dapat berhenti. Suhu optimum fitoremediasi berkisar antara 25˚-31˚C (Rosita, 2013).

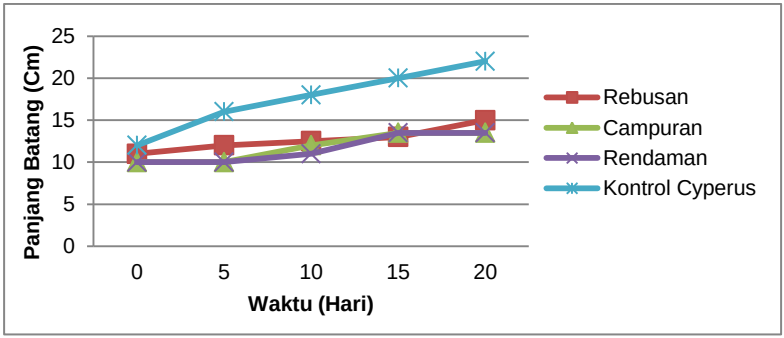


Gambar 4.27 Suhu Air Limbah Rendaman *Cyperus rotundus L.*

Sumber: Hasil Analisis

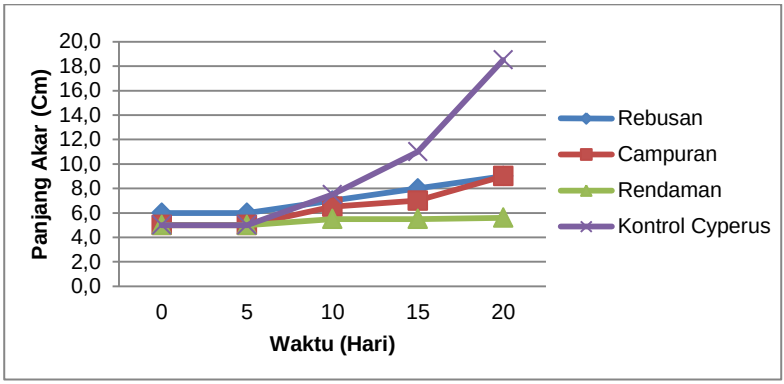
Berdasarkan Gambar 4.25 sampai dengan Gambar 4.27 dapat dilihat bahwa besarnya suhu antar reaktor cenderung sama, yaitu berkisar antara 29˚-31˚C. Hal ini dikarenakan setiap reaktor diletakkan pada satu lokasi. Peningkatan maupun penurunan suhu yang terjadi juga sama dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Perubahan suhu terjadi karena adanya pengaruh dari radiasi matahari, dapat dilihat pada Gambar 4.25 sampai dengan Gambar 4.27 bahwa terjadi peningkatan suhu dikarenakan pengaruh dari radiasi matahari. Analisis Kondisi Tumbuhan

Hasil Analisis terhadap pertumbuhan batang dapat dilihat pada Gambar 4.28. Hasil Analisis pada pertumbuhan akar dapat dilihat pada Gambar 4.29 dan hasil Analisis pada pertumbuhan tunas baru dapat dilihat pada Gambar 4.30.

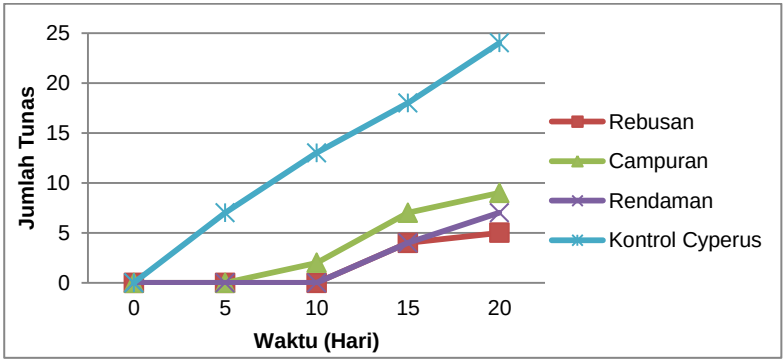


Gambar 4.28 Pertumbuhan Batang *Cyperus rotundus L*

Berdasarkan pada Gambar 4.28 bahwa terjadi perubahan dari panjang batang tumbuhan saat terpapar limbah. Pertambahan pertumbuhan tinggi *Cyperus rotundus L* pada reaktor uji rata-rata mencapai 3 cm - 5 cm. Hal ini berkaitan dengan proses fitodegradasi pada saat uji Phytotreatment. Kontaminan diserap dan kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme tumbuhan *Cyperus rotundus L*. Hasil metabolisme ini berupa sel-sel baru yang menyebabkan pertambahan tinggi tumbuhan *Cyperus rotundus L*. tumbuhan akan menyerap bahan pencemar yang kemudian akan digunakan dalam produksi sel-sel pertumbuhan.



Gambar 4.29 Pertumbuhan Akar *Cyperus rotundus L*



Gambar 4.30 Pertumbuhan Tunas Baru *Cyperus rotundus L*

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap perkembangan panjang akar pada Gambar 4.29 menunjukkan pertumbuhan akar

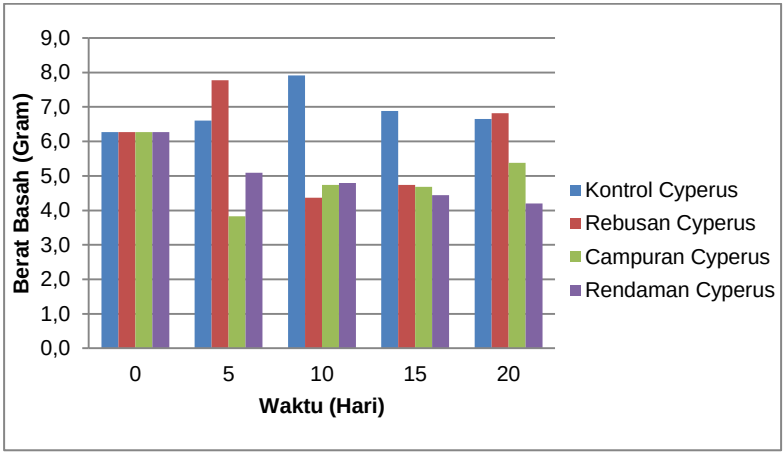
dengan rata-rata perkembangan pertumbuhan akar *Cyperus rotundus L* pada reaktor uji mencapai 2 cm - 4 cm. Hal ini berkaitan dengan proses fitodegradasi pada saat uji fitoremediasi. Kontaminan diserap dan kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme tumbuhan *Cyperus rotundus L* fitoproses dalam tubuh tumbuhan.

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap pertumbuhan tunas baru pada Gambar 4.30 menunjukkan pertumbuhan tunas baru dengan rata-rata jumlah tunas baru *Cyperus rotundus L* pada reaktor uji mencapai 5 batang – 10 batang.

4.4.1.6. Analisis Berat Kering

Adapun berat basah, berat kering dan persen kadar air tumbuhan *Cyperus rotundus* selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.31 (berat basah), Gambar 4.32 (berat kering), dan Gambar 4.33 (persen kadar air).

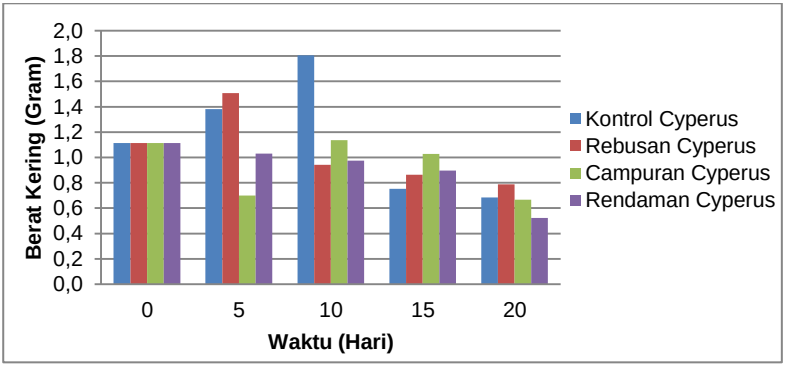
Berdasarkan data yang ditampilkan pada Gambar 4.40 terlihat bahwa berat basah pada tumbuhan *Cyperus rotundus L* pada hari ke-5 menurun, ini dikarenakan penyesuaian tumbuhan terhadap paparan limbah. Namun pada hari ke-20 berat kering pada masing-masing reaktor semakin naik, ini menunjukkan bahwa tumbuhan menyerap lebih banyak nutrisi yang berasal dari limbah.



Gambar 4.31 Berat Basah *Cyperus rotundus L*

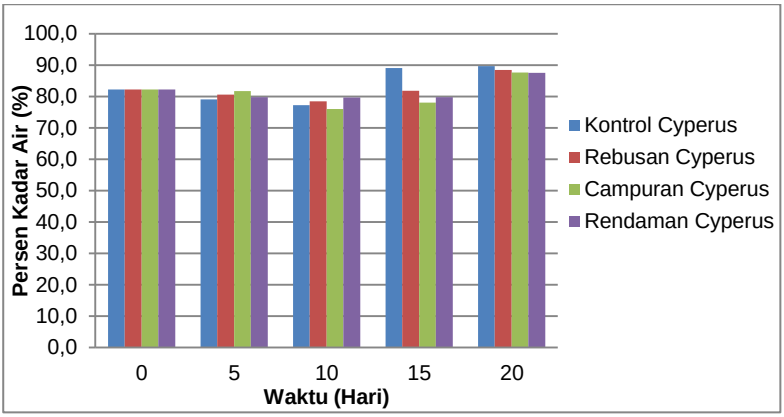
Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Gambar 4.32 terlihat bahwa berat berat kering pada tumbuhan *Cyperus rotundus L* pada hari ke-5 rata-rata naik, ini dikarenakan kadar air pada tumbuhan yang semakin menurun. Namun pada hari ke-20 berat basah pada masing-masing reaktor semakin turun yang dikarenakan oleh kadar air pada tumbuhan semakin naik, ini menunjukkan bahwa tumbuhan menyerap lebih banyak nutrisi yang berasal dari limbah.



Gambar 4.32 Berat Kering *Cyperus rotundus L*

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.33 Persen Kadar Air *Cyperus rotundus L*

Sumber: Hasil Analisis

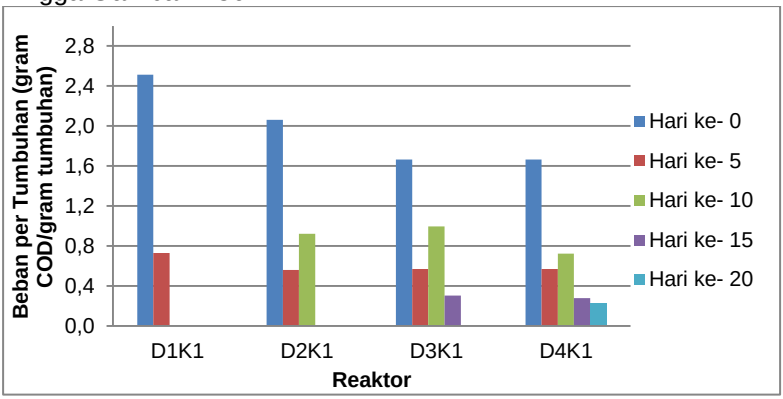
Berdasarkan data yang ditampilkan pada Gambar 4.33 dapat dilihat bahwa kadar air pada tumbuhan *Cyperus rotundus L*

pada hari ke-5 menurun, ini dikarenakan tumbuhan masih dalam proses penyesuaian terhadap paparan limbah. Namun pada hari ke-10 hingga hari ke-20 kadar air pada tumbuhan semakin naik, ini menunjukkan bahwa tumbuhan menyerap lebih banyak nutrisi yang berasal dari limbah.Kontaminan yang diserap oleh *Cyperus rotundus L* kemudian dimanfaatkan untuk metabolisme tumbuhan. Kandungan biomassa tinggi dikarenakan pertumbuhan tanaman yang baik serta didukung kondisi suhu dan pH media tumbuh yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman.

4.4.2. *Scirpus grossus*

4.4.2.1. Analisis Parameter COD

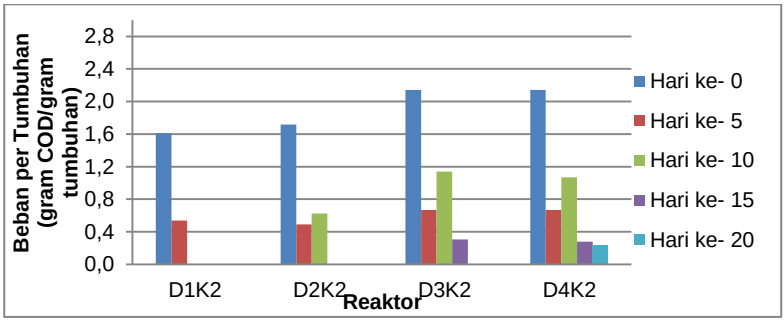
Pada penelitian ini dilakukan juga analisis terhadap media dengan limbah (tanpa tumbuhan), dimana hasil dari reaktor kontol limbah dapat dilihat pada Lampiran B. Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa media juga berpengaruh dalam menurunkan konsentrasi COD. Adapun besar penurunan konsentrasi COD pada masing-masing reaktor kontrol limbah yakni, untuk limbah rebusan sebesar 33,7%, untuk limbah campuran sebesar 36,8% dan limbah rendaman sebesar 31,5%. Hasil analisis COD serta penurunan COD pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada Lampiran B. Adapun beban COD per tumbuhan oleh tanaman *Scirpus grossus* pada masing-masing reaktor berdasarkan jenis limbah dapat dilihat pada Gambar 4.34 hingga Gambar 4.36.



Gambar 4.34 Beban COD per Tumbuhan pada Limbah Rebusan dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus*

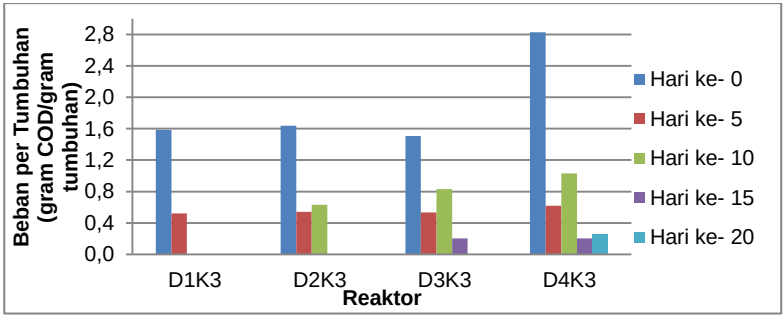
Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar 4.34, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban COD pada limbah rebusan dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* mengalami penurunan sebesar 0,7 – 1,0 gramCOD/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,7 – 1,1 gramCOD/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban COD semakin meningkat yakni sebesar 1,4 gramCOD/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 1,4 gramCOD/gram tumbuhan.



Gambar 4.35 Beban COD per Tumbuhan pada Limbah Campuran dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.36 Beban COD per Tumbuhan pada Limbah Rendaman dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar 4.35, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban COD pada limbah campuran dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* mengalami penurunan sebesar 1,1 – 1,5 gramCOD/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 1,0 – 1,1 gramCOD/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban COD semakin meningkat yakni sebesar 1,8 –

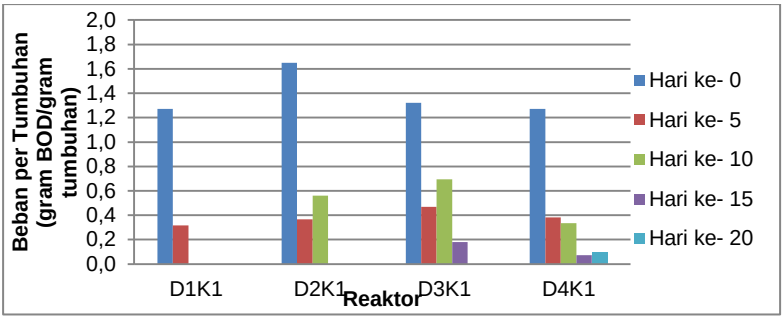
1,9 gramCOD/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 1,9 gramCOD/gram tumbuhan.

Berdasarkan Gambar 4.34, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban COD pada limbah rendaman dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* mengalami penurunan sebesar 1,0 – 2,2 gramCOD/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,7 – 1,8 gramCOD/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban COD semakin meningkat yakni sebesar 1,3 – 2,6 gramCOD/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 2,6 gramCOD/gram tumbuhan.

4.4.2.2. Analisis Parameter BOD

Pada penelitian ini dilakukan juga analisis terhadap media yang digunakan yakni dengan menambahkan reaktor kontrol yang berisi media dan limbah (tanpa tumbuhan). Hasil analisis reaktor kontrol limbah dapat dilihat pada Lampiran B. Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa media juga berpengaruh dalam menurunkan konsentrasi BOD pada masing-masing jenis limbah. Adapun besar penurunan konsentrasi BOD pada masing-masing reaktor kontrol limbah yakni, untuk limbah rebusan sebesar 32,9%, untuk limbah campuran sebesar 42,3%, dan limbah rendaman sebesar 40,1%.

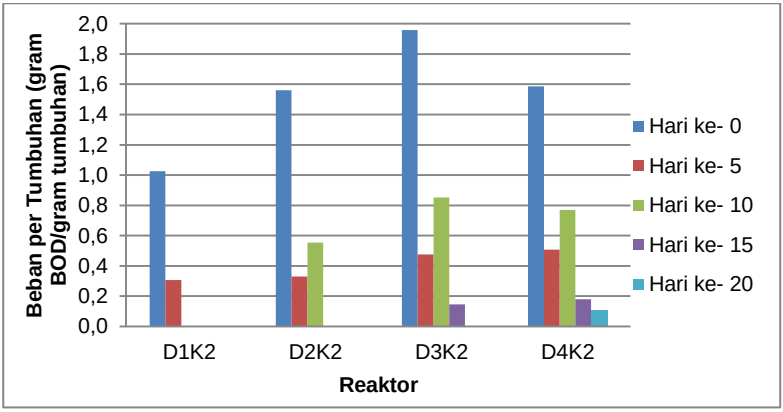
Berdasarkan hasil analisis BOD yang telah dilakukan dapat dilihat konsentrasi BOD pada Lampiran B, sedangkan penurunan beban BOD limbah cair tempe oleh tumbuhan *Scirpus grossus* berdasarkan jenis limbah dapat dilihat pada Gambar 4.37 sampai dengan Gambar 4.39.



Gambar 4.37 Beban BOD per Tumbuhan pada Limbah Rebusan dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus*

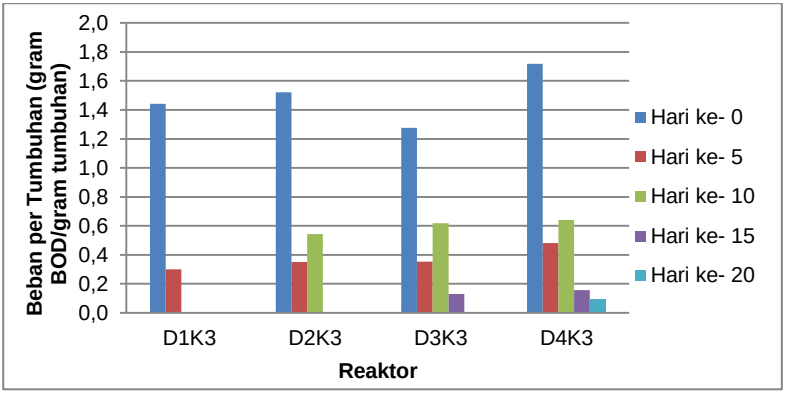
Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar 4.37, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban BOD pada limbah rebusan dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* mengalami penurunan sebesar 0,3 – 0,5 gramBOD/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,5 – 0,6 gramBOD/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban BOD semakin meningkat yakni sebesar 0,1 – 0,2 gramBOD/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 0,1 gramBOD/gram tumbuhan.



Gambar 4.38 Beban BOD per Tumbuhan pada Limbah Campuran dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.39 Beban BOD per Tumbuhan pada Limbah Rendaman dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis

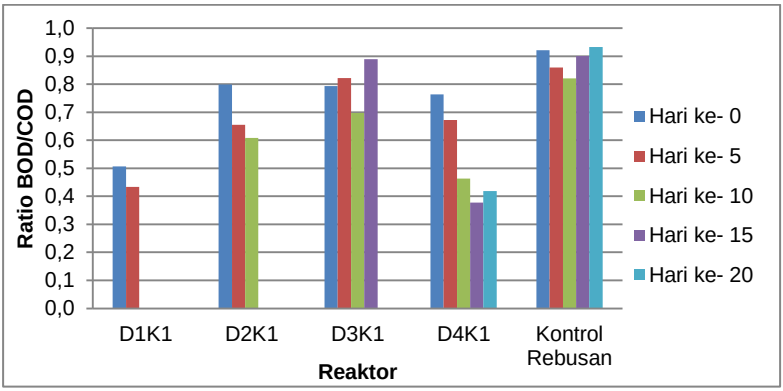
Berdasarkan Gambar 4.38, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban BOD pada limbah campuran dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* mengalami penurunan sebesar 0,7 – 1,5 gramBOD/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,8 – 1,1 gramBOD/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban BOD semakin meningkat yakni sebesar 1,4 – 1,8 gramBOD/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 1,5 gramBOD/gram tumbuhan.

Berdasarkan Gambar 4.39, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban BOD pada limbah rendaman dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* mengalami penurunan sebesar 0,9 – 1,2 gramBOD/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,7 – 1,0 gramBOD/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban BOD semakin meningkat yakni sebesar 1,1 – 1,6 gramBOD/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 1,6 gramBOD/gram tumbuhan.

4.4.2.3. Analisis Rasio BOD/COD

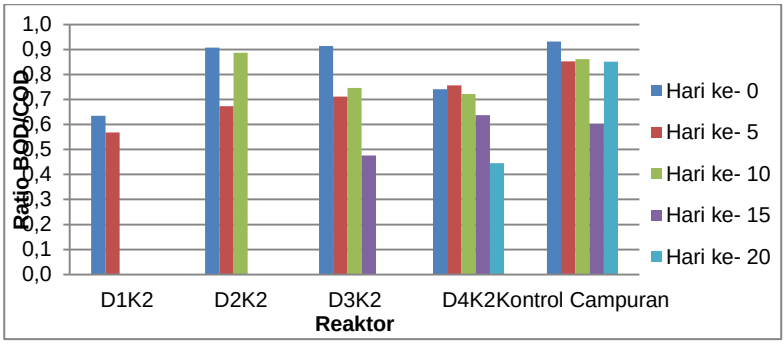
Hasil analisis nilai ratio BOD/COD oleh tanaman *Scirpus grossus* dengan jenis limbah yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.40, sampai dengan Gambar 4.42.

Berdasarkan Gamnbar 4.40 sampai dengan Gambar 4.42 dapat dilihat bahwa rasio BOD/COD limbah tersebut berada diantara 0,4 – 0,9. Hal ini menandakan bahwa limbah tempe bersifat *biodegradable*.



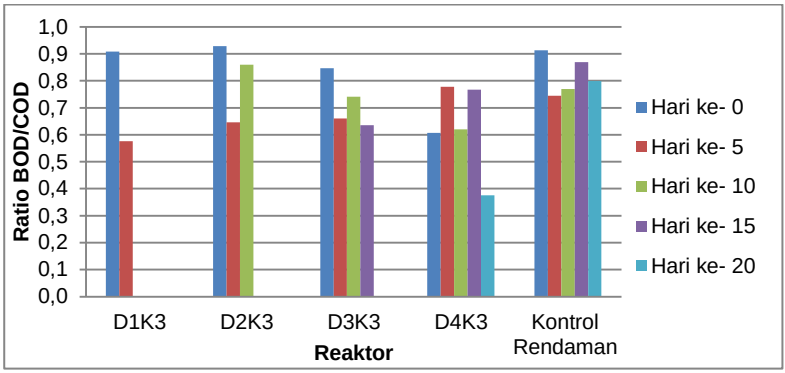
Gambar 4.40 Ratio BOD/COD Limbah Rebusan *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.41 Ratio BOD/COD Limbah Campuran *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.42 Ratio BOD/COD Limbah Rendaman *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan data pada Gambar 4.40 hingga Gambar 4.41 rasio BOD/COD semakin lama semakin menurun namun masih berada pada rentang sifat *biodegradable* yakni sebesar 0,4. Turunnya rasio BOD/COD dikarenakan penurunan BOD lebih besar dibandingkan dengan penurunan COD. Hal ini membuktikan karena tumbuhan cenderung mengoksidasi senyawa organik *biodegradable* dibandingkan dengan senyawa *non-biodegradable*.

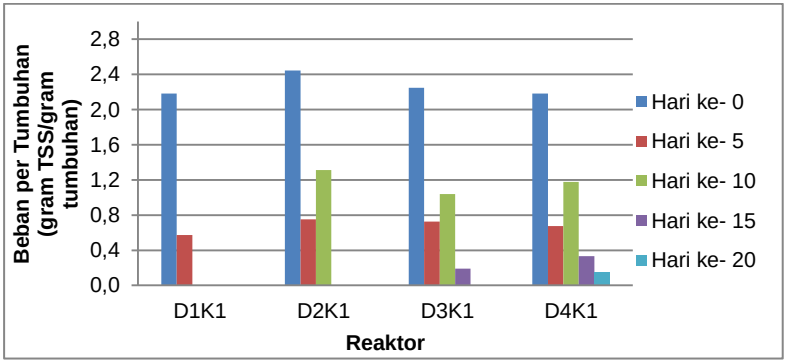
4.4.2.4. Analisis Total Suspended Solid (TSS)

Pada penelitian ini dilakukan juga analisis terhadap media yang digunakan yakni dengan menambahkan reaktor kontrol yang berisi media dan limbah saja (tanpa tumbuhan).

Hasil penurunan konsentrasi TSS pada reaktor kontrol limbah tanpa tumbuhan dapat dilihat pada Lampiran B. Adapun besar penurunan konsentrasi TSS pada masing-masing reaktor kontrol limbah yakni, untuk limbah rebusan sebesar 42,3%, untuk limbah campuran sebesar 43,3% dan untuk limbah rendaman sebesar 42,4%. Berdasarkan hasil analisis tersebut dapat diketahui bahwa media yang digunakan pada analisis ini juga sangat berpengaruh dalam penurunan konsentrasi TSS pada masing-masing jenis limbah.

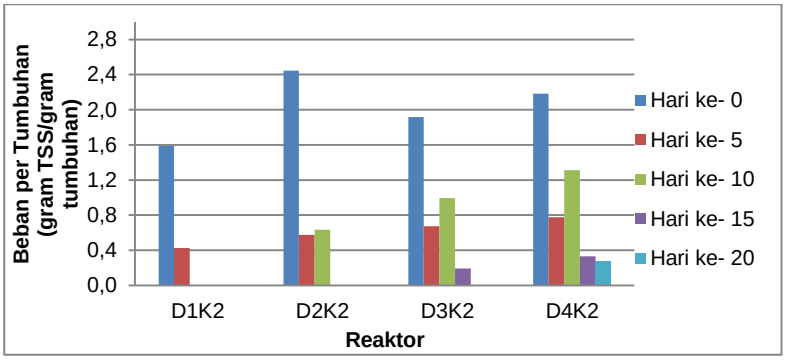
Pada percobaan yang dilakukan terhadap limbah cair tempe menggunakan tumbuhan *Cyperus rotundus* dan *scirpus grossus* pada akhir percobaan menunjukkan beban TSS mengalami penurunan. Hasil analisis menunjukkan bahwa proses fitoremediasi dengan menggunakan tanaman dapat menurunan TSS dengan baik. Penurunan TSS pada masing-masing reaktor selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.43 sampai dengan Gambar 4.45.

Berdasarkan Gambar 4.43, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban TSS pada limbah rebusan dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* mengalami penurunan sebesar 1,5 – 1,7 gramTSS/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 1,0 – 1,2 gramTSS/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban TSS semakin meningkat yakni sebesar 1,9 – 2,1 gramTSS/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 2,0 gramTSS/gram tumbuhan.



Gambar 4.43 Beban TSS per Tumbuhan pada Limbah Rebusan dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus*

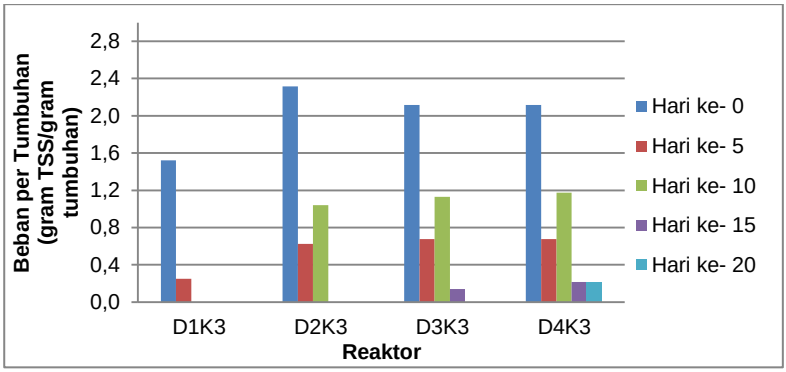
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.44 Beban TSS per Tumbuhan pada Limbah Campuran dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar 4.44, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban TSS pada limbah campuran dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* mengalami penurunan sebesar 1,2 – 1,9 gramTSS/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,9 – 1,8 gramTSS/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban TSS semakin meningkat yakni sebesar 1,7 – 1,9 gramTSS/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 1,9 gramTSS/gram tumbuhan.



Gambar 4.45 Beban TSS per Tumbuhan pada Limbah Rendaman dengan Menggunakan Tumbuhan *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar 4.45, dapat dilihat bahwa pada hari ke- 5 penelitian, beban TSS pada limbah rendaman dengan menggunakan tumbuhan *Scirpus grossus* mengalami penurunan

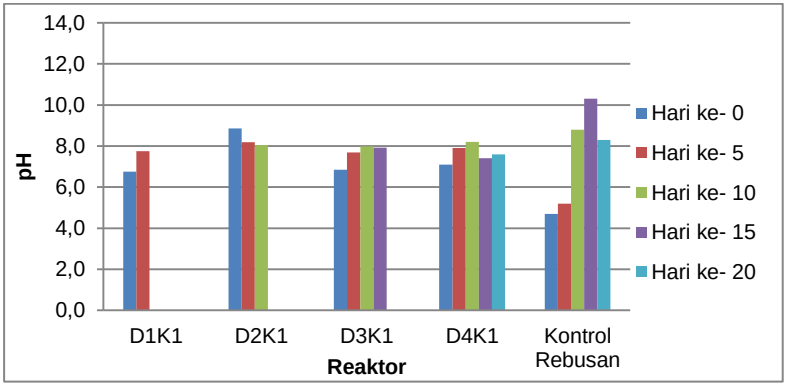
sebesar 1,3 – 1,7 gramTSS/gram tumbuhan, pada hari ke- 10 sebesar 0,9 – 1,3 gramTSS/ gram tumbuhan, pada hari ke- 15 penurunan beban TSS semakin meningkat yakni sebesar 1,9 – 2,0 gramTSS/gram tumbuhan dan hari ke- 20 yakni sebesar 1,9 gramTSS/gram tumbuhan.

Berdasarkan hasil analisis dapat dilihat bahwa pada rentang hari ke- 10 sampai hari ke-15 terjadi kenaikan pada beban TSS pada masing-masing reaktor, ini diakibatkan karena tumbuhan yang digunakan pada penelitian ini sudah mulai jenuh. Namun pada rentang hari ke-15 hingga hari ke-20, beban TSS kembali turun, dikarenakan sudah mulai tumbuh tunas-tunas baru tumbuhan dan kembali menyerap beban TSS pada limbah.

4.4.2.5. Analisis pH dan Suhu

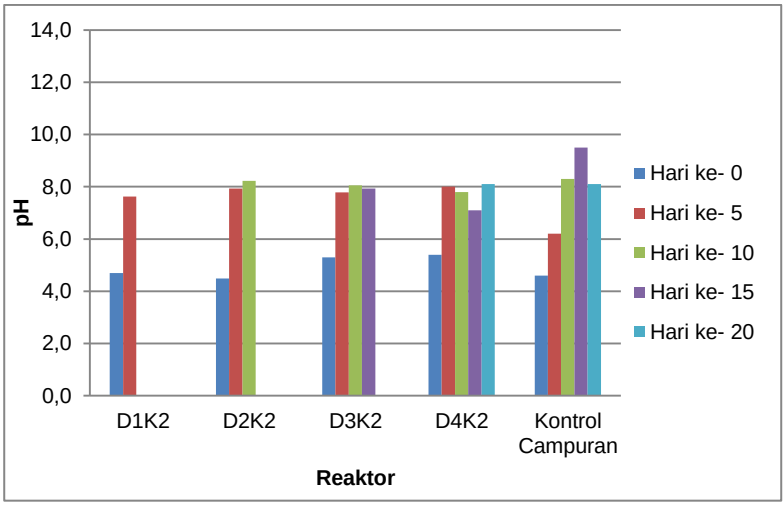
Analisis pH dan suhu dilakukan setiap sekali 5 hari selama 20 hari. Nilai pH selama masa penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.46 sampai dengan Gambar 4.48.

Pada penelitian ini pH digunakan sebagai parameter pendukung yang diamati setiap pengambilan sampel. pH air limbah cenderung meningkat namun pada hari ke- 20 cenderung menurun. Hasil analisis pH menunjukkan bahwa pH pada air limbah berfluktuasi pada kisaran 7,0 – 9,0. Semakin lama waktu pemaparan, pH masing-masing reaktor menuju ke arah netral. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengolahan air limbah dapat mempengaruhi nilai pH air yang diolah menjadi lebih rendah.



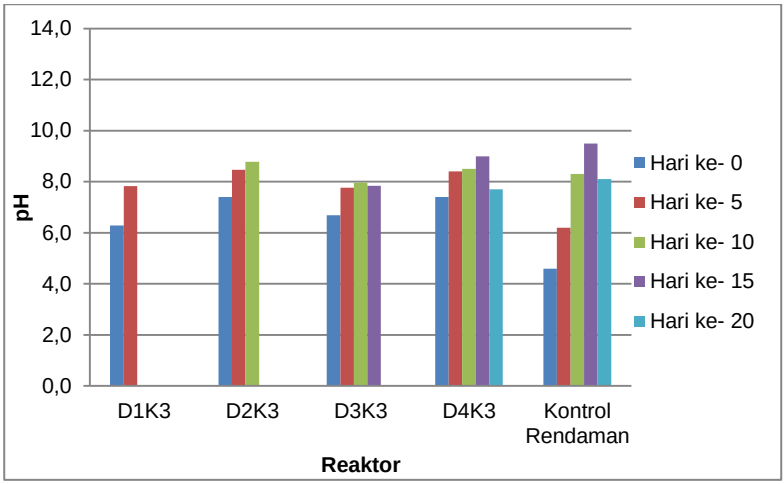
Gambar 4.46 pH Air Limbah Rebusan *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.47 pH Air Limbah Campuran *Scirpus grossus*

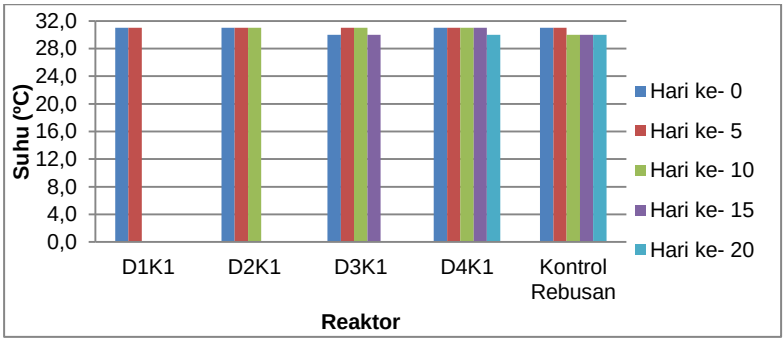
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.48 pH Air Limbah Rendaman *Scirpus grossus*

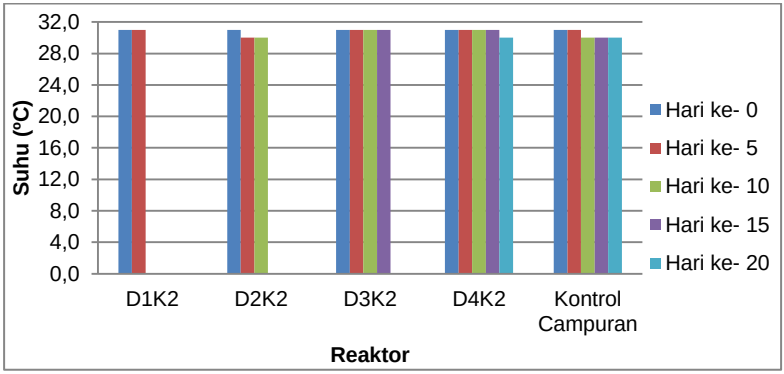
Sumber: Hasil Analisis

Selama penelitian ini juga dilakukan pengukuran suhu untuk mengetahui suhu air limbah pada tiap reaktor. Suhu air limbah tempe selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.49 sampai dengan Gambar 4.51.



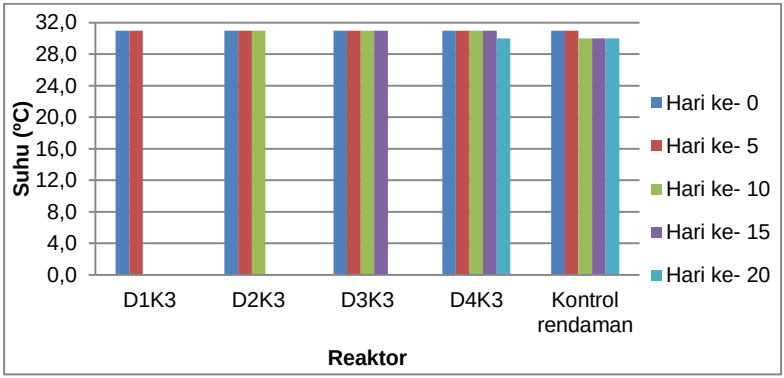
Gambar 4.49 Suhu Air Limbah Rebusan *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 4.50 Suhu Air Limbah Campuran *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis

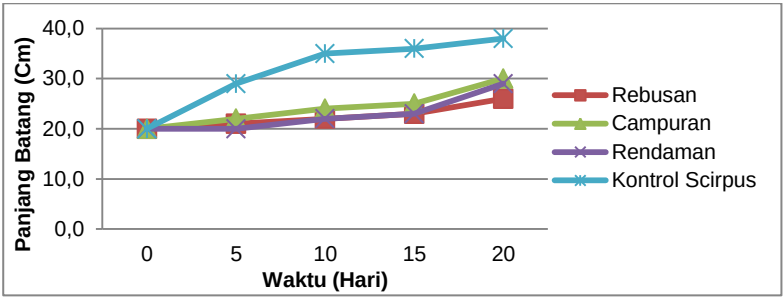


Gambar 4.51 Suhu Air Limbah Rendaman *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis

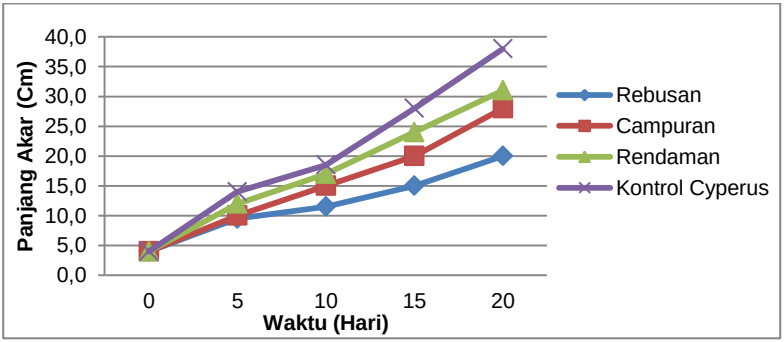
4.4.2.6. Analisis Kondisi Tumbuhan

Hasil Analisis terhadap pertumbuhan batang dapat dilihat pada Gambar 4.52. Hasil Analisis pada pertumbuhan akar dapat dilihat pada Gambar 4.54 dan hasil Analisis pada pertumbuhan tunas baru dapat dilihat pada Gambar 4.54.



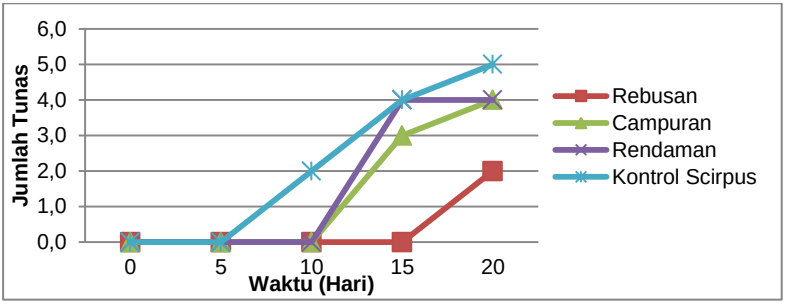
Gambar 4.52 Pertumbuhan Batang *Scirpus grossus*

Terlihat pada Gambar 4.52 bahwa terjadi peningkatan tumbuhan dari panjang batang tumbuhan saat terpapar limbah. Rata-rata pertumbuhan tinggi *Scirpus grossus* pada reaktor uji mencapai 5 cm - 10 cm. Hal ini berkaitan dengan proses fitodegradasi pada saat uji fitoremediasi. Kontaminan diserap dan kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme tumbuhan *Scirpus grossus*. Hasil metabolisme ini berupa sel-sel baru yang menyebabkan pertambahan tinggi tumbuhan *Scirpus grossus*. tumbuhan akan menyerap bahan pencemar yang kemudian akan digunakan dalam produksi sel-sel pertumbuhan.



Gambar 4.53 Pertumbuhan Akar *Scirpus grossus*

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap perkembangan panjang akar pada Gambar 4.53 menunjukkan perkembangan panjang akar dengan rata-rata perkembangan pertumbuhan akar *Scirpus grossus* pada reaktor uji mencapai 20 cm - 30 cm. Hal ini berkaitan dengan proses fitodegradasi pada saat uji fitoremediasi.

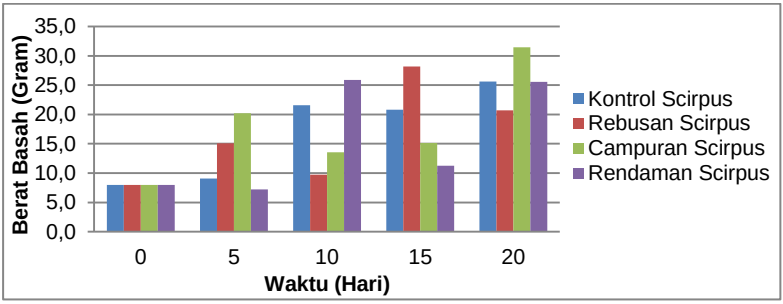


Gambar 4.54 Pertumbuhan Tunas Baru *Scirpus grossus*

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap pertumbuhan tunas baru pada Gambar 4.54 menunjukkan pertumbuhan tunas baru yang terpapar limbah dengan rata-rata jumlah tunas baru *Scirpus grossus* pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 2 batang – 4 batang.

4.4.2.7. Analisis Berat Kering

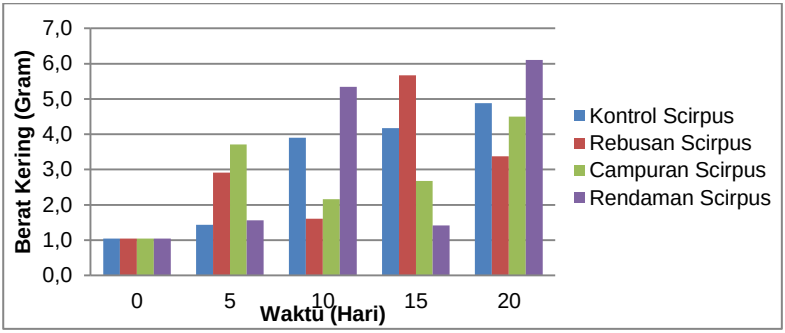
Adapun berat basah, berat kering dan persen kadar air tumbuhan *Scirpus grossus* selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.55 (berat basah), Gambar 4.56 (berat kering), dan Gambar 4.57 (persen kadar air).



Gambar 4.55 Berat Basah *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisiis

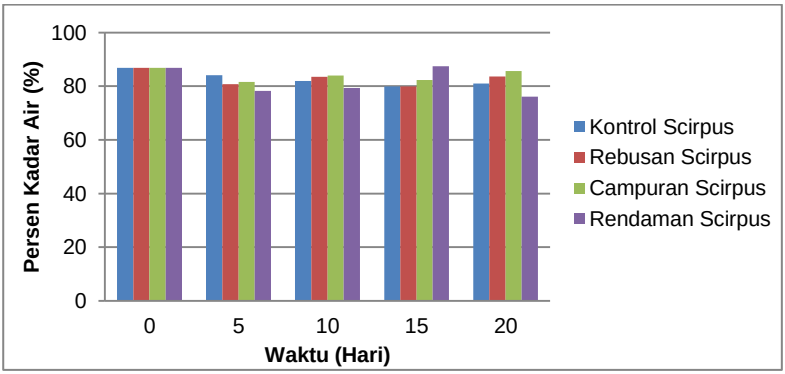
Berdasarkan data yang ditampilkan pada Gambar 4.55 terlihat bahwa berat basah pada tumbuhan *Scirpus grossus* pada masing-masing reaktor semakin naik, ini menunjukkan bahwa tumbuhan menyerap lebih banyak nutrisi yang berasal dari limbah.



Gambar 4.56 Berat Kering *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Gambar 4.56 terlihat bahwa berat kering pada tumbuhan *Scirpus grossus* pada masing-masing reaktor semakin naik ini menunjukkan bahwa tumbuhan menyerap lebih banyak nutrisi yang berasal dari limbah sehingga tumbuhan dapat tumbuh dan berkembang dengan baik.



Gambar 4.57 Persen Kadar Air *Scirpus grossus*

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Gambar 4.57 dapat dilihat bahwa kadar air pada tumbuhan *Scirpus grossus*

pada hari ke-5 menurun, ini dikarenakan tumbuhan masih dalam proses penyesuaian terhadap paparan limbah. Namun pada hari ke-10 hingga hari ke-20 kadar air pada tumbuhan semakin naik, ini menunjukkan bahwa tumbuhan menyerap lebih banyak nutrisi yang berasal dari limbah.Kontaminan yang diserap oleh *Scirpus grossus* kemudian dimanfaatkan untuk metabolisme tumbuhan. Kandungan biomassa tinggi dikarenakan pertumbuhan tanaman yang baik serta didukung kondisi suhu dan pH media tumbuh yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dari penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Beban BOD, COD dan TSS per tumbuhan secara berurutan yang mampu ditolerir oleh tumbuhan yakni: tumbuhan *Cyperus rotundus L*, 1,6 gram BOD/gram tumbuhan yang terdapat pada limbah rebusan, 2,6 gram COD/gram tumbuhan yang terdapat pada limbah rendaman dan 2,4 gram TSS/gram tumbuhan yang terdapat pada limbah rendaman. Sedangkan *Scirpus grossus* yakni 1,8 gram BOD/gram tumbuhan yang terdapat pada limbah rendaman, 2,9 gram COD/gram tumbuhan yang terdapat pada limbah rendaman dan 2,3 gram TSS/gram tumbuhan yang terdapat pada limbah rebusan.
2. Penurunan beban BOD, COD, dan TSS per tumbuhan secara berurutan adalah *Cyperus rotundus L,* 1,1 gram BOD/gram tumbuhan (62,6%) yang terdapat pada limbah campuran, 1,6 gram COD/gram tumbuhan (61,4%) yang terdapat pada limbah campuran, dan 0,9 gram TSS/gram tumbuhan (44,1%) yang terdapat pada limbah campuran. Sedangkan *Scirpus grossus* yakni 1,3 gram BOD/gram tumbuhan (94,5%) yang terdapat pada limbah rendaman, 2,3 gram COD/gram tumbuhan (86,7%) yang terdapat pada limbah rebusan dan 2,0 gram TSS/gram tumbuhan (93,1%) yang terdapat pada limbah rebusan.

5.2. SARAN

Adapun saran dari penelitian ini adalah

- Untuk penelitian selanjutnya dilakukan analisa terhadap media yang akan digunakan dalam *phytotreatment.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Abel, P. D. (1989). *Water polution Biology.* New York.

Amalia, D. R., Zaman, B., & Hadiwidodo, M. (2010). Pengaruh Jumlah Koloni Rumput Teki (Cyperus rotundus L) pada Media Tanah TPA Terhadap Penurunan Konsentrasi BOD dan COD dalam Lindi (Studi Kasus TPA Jatibarang-Semarang).

Badan Ketahanan Pangan. (2013). *Roadmap Diversifikasi Pangan Tahun 2012-2014.* Jakarta: Kementerian Pangan.

Dalimartha, S. (2009). Atlas Tumbuhan Obat Indonesia Jilid I.

Hayati, N. (1992). *Kemampuan Eceng Gondokm dalam Mengubah Sifat Fisik Kimia Limbah Cair Pabrik Pupuk Uera dan Asam Formiat.* Bandung: Pasca Sarjana Biologi ITB.

Herlambang. (2011). *Teknologi Pengolahan Limbah Tahu-Tempe.* Jakarta.

Heyne, K. (1987). *Tumbuhan Berguna Indonesia* (I dan II ed.). (B. L. Kehutanan, Penerj.) Jakarta Pusat: Koperasi Karyawan Departemen Kehutanan Jakarta Pusat.

Jawetz, M., & Adelbergs. (2009). *Medical Microbiology.* Jakarta: Salemba Medika.

Khiatuddin, M. (2003). *Pelestarian Sumber Daya Air dengan Teknologi Rawa.* Bandar Lampung.

Kholidiyah, N. (2010). *Respon Biologis Tumbuhan Eceng Gondok sebagai Biomonitoring Pencemaran Logam Berat Cadmium (Cd) dan Plumbum (Pb) pada Sungai Pembuangan Lumpur Lapindo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo.* Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

Komala, P. S., Sy, S., & Murti, N. (2010). *Peran Media Pendukung Perlit dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Karet Menggunakan Tumbuhan Mensiang (Scirpus grossus L.f) (Studi Kasus: Limbah Cair Industri Karet Remah PT. Batang Hari Barisan Padang).* Padang: Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas.

Mangkoedihardjo, & Samudro, G. (2010). *Fitoteknologi Terapan.* Yogyakarta: Graha Ilmu.

Mangkoediharjo, S., & Samudro, G. (2009). *Ekoteknologi Teknosfer.* Surabaya: Guna Widya.

Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse.* New York, America: MC Graw-Hill.

Moenandir, J. (1993). *Pengantar Ilmu Gulma dan Pengendalian Gulma (Ilmu Gulma-Buku I).* Jakarta: Rajawali Press.

Ningsih, A. (2017). *Uji Penurunan Kandungan BOD, COD, dan Warna pada Limbah Cair Batik Menggunkan Scirpus grossus dan iris pseudacorus dengan Sistem Pemaparan Intermitten.* Surabaya: Teknik Lingkungan ITS.

Nuraida. (2014). Dalam *Analisis Kebutuhan Air pada Industri Pengolahan Tahu dan Kedelai.* Medan: Universitas Sumatera Utara.

Pranasari, R., T, N., & K, P. (2012). Persaingan Tanaman Jagung (Zea mays) dan Rumput Teki (Cyperus rotundus L) pada Pengaruh Cekaman Garam (NaCl). *Jurnal Sains dan Seni ITS*.

Putri, A. R., Samudro, G., & Handayani, D. S. (2013). *Penentuan Rasio BOD/COD Optimal pada Reaktor Aerob, Fakultatif dan Anaerob.* Semarang: Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro.

Rachmaulin, S. H., & Mangkoedihardjo, S. (2013). Pengaruh Waktu Pemaparan dan Jumlah Rumbuhan Terhadap Efisiensi Pengolahan Lindi TPA Sidoarjo. *Jurnal Teknik POMITS, 1*.

Rosita. (2013). *Pencemaran Lingkungan.* Jakarta.

Sari, F. D. (2013). *Fitoremediasi Limbah Rumah Tangga oleh Tanaman Wlingen (Scirpus grossus), Kiapu (Pistia stratiotes) dan Teratai (Nymphe firecrest).* Universitas Sumatera Utara, Ilmu Kesehatan Masyarakat. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Sasikala, C., M, C. C., M, A., & B, K. K. (2009). in Vitro Anthelmintic Activity of Root of Acalypha Indica Linn. *international Journal of Pharmatech Research, 4*, 1499-1502.

Soemirat, J. (2003). *Toksikologi Lingkungan.* Yogyakarta: Gadjah Mada University.

Srinivas, T. (2008). *Environmenal Biotechnology.* New Age International.

Suprihatin, H. (2014). *Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo dan Alternatif Pengolahannya.*

Surabaya: Teknik Lingkungan Institut Teknologi Pembangunan.

Tangahu, B. V., Abdullah, S. R., Basri, H., H, I., Anuar, N., & Mukhlisin, M. (2010). Enchancement of Caloric Value of Scirpus grossus After Phytotoxicity Test of Lead (Pb). *Journal Revelation and Science, 01*.

Wardhana, W. A. (2001). *Dampak Pencemaran Lingkungan.* Yogyakarta.

Wasiul, A. (2009). Air rebusan Rumput Teki (Cyperus rotundus L) Sebagai Alternatif Penyembuhan Sariawan.

Wiryani, E. (2013). Analisis Kandungan Limbah Cair Pabrik Tempe. *Jurnal Sainteks*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A
Prosedur Analisis Laboratorium

1. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Alat dan Bahan

1) Larutan kalium dikromat (K2Cr2O7) 0,1 N
2) Kristal perah sulfat (Ag2SO4) dicampur dengan asam sulfat (H2SO4)
3) Kristal merkuri Sulfat (Hg2SO4)
4) Larutan standart Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N
5) Larutan indikator Fenantrolin Fero sulfat (Feroin)
6) Erlenmeyer 250 mL 2 buah
7) Labu ukur 100 mL 1 buah
8) Tabung COD 2 buah
9) Kompor listrik
10) Pipet 10 mL 1 buah
11) Pipet tetes 1 buah
12) Beker glass 50 mL 1 buah
13) Gelas ukur 25 mL 1 buah

Prosedur Analisis:

1) Ambil 1 mL sampel dan masukkan ke dalam labu ukur 100 mL, tambahkan akuades sampai batas labu ukur.
2) Ambil 1 mL sampe dari labu ukur dan 1 mL akuades (sebagai blanko) ke dalam masing-masing tabung COD
3) Tambahkan 1,5 mL larutan $K_2C_2O_7$ 0,05 N
4) Tambahkan 3,5 mL larutan Ag_2SO_4
5) Nyalakan kompor listrik selama 2 jam
6) Matikan kompor listrik, dan biarkan tabung COD dingin
7) Tambahkan 3-4 tetes indikator Feroin
8) Tuang sampel ke dalam erlenmeyer 250 mL
9) Titrasi kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan menggunakan larutan standart FAS 0,05 N hingga berubah warna menjadi merah coklat
10) Hitung COD dengan menggunakan rumus:

    COD (mg O_2/L) $= \frac{(A-B)x\ N\ X\ 8000}{Vol.Sampel}$ x P

    Keterangan:

    A : mL FAS Titrasi blanko
    B : mL FAS Titrasi sampel
    N : Normalitas larutan FAS
    P : Pengenceran

2. **Analisis BOD (*Biological Oxygen Demand*)**

Alat dan Bahan

1) 1 buah labu ukur 500 mL
2) 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL
3) 1 buah botol winkler 300 mL dan 1 buah botol winkler 150 mL
4) Inkubator suhu 20°C

Prosedur Analisis

1) Sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran dituangkan ke dalam labu ukur kemudian ditambahkan air pengencer hingga tanda batas
2) Sampel yang telah diencerkan dituangkan kedalam 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winkler 150 mL hingga tupah kemudian ditutup dengan hati-hati
3) Air pengencer dituangkan kedalam 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winkler 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati0hati
4) Larutan dalam botol winkler 300 mL dimasukkan ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari
5) Perhitungan nilai BOD dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$BOD_5^{20}\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{[\{(X_0 - X_5) - (B - B_5)\} x\ (1 - P)]}{P}$$

$$P = \frac{mL\ sampel}{Volume\ hasil\ pengenceran\ (500\ mL)}$$

Keterangan:

X_0 : D_0 sampel pada t=0
X_5 : D_0 sampel pada t=5
B_0 : D_0 blanko pada t=0
B_0 : D_0 sampel pada t=0
P : Derajat pengenceran

3. **Analisis TSS**

Alat dan Bahan

1) Kertas saring 1 buah
2) Pinset 1 buah
3) Cawan porselen 1 buah

4) Oven 105°C
5) Vacum Pump
6) Pipet ukur 10 mL 1 buah
7) Labu ukur 100 mL 1 buah
8) Beaker glass 25 mL 1 buah
9) Neraca analitik
10) Furnace 550°C

Prosedur Analisis

1) Furnace cawan porselen selama 1 jam
2) Oven kertas saring dan cawan porselen selama 1 jam
3) Desikator kertas saring dan cawan selama 15 menit
4) Timbah berat cawan dan kertas saring kosong dengan neraca analitik
5) Ambil sampel 10 mL menggunakan pipet ukur 10 mL dan masukkan ke dalam labu ukur 100 mL
6) Encerkan dengan akuades hingga batas labu ukur
7) Ambil 25 mL sampel dengan pipet ukur dan masukkan kedalam beaker glass
8) Tuang sampel perlahan-lahan ke dalam vacum pump yang sudah ada kertas saringnya
9) Oven kertas saring dan residu pada suhu 105°C selama 1 jam
10) Desikator selama 15 menit
11) Timbang dengan neraca analitik
12) Hitung TSS dengan menggunakan rumus:

TSS (mg/L) $= \frac{f-e}{g}$ x 1000 x 1000

Keterangan:

f = Cawan dan residu setelah di oven
e = cawan kosong setelah di furnace dan di oven
g = Volume sampel

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B
Hasil Pengamatan Parameter

1. TAHAP PERBANYAKAN

Pertumbuhan *Cyperus rotundus L* saat Perbanyakan

Hari Ke-	Tinggi Tumbuhan (cm)	Lebar Sisi Batang (cm)
0	0	0
2	0,2	0,1
4	1,5	0,1
6	7,3	0,2
8	15	0,2
10	19,1	0,2
12	21,5	0,2
14	27,1	0,3
16	36,2	0,3
18	43,7	0,4
20	56	0,4
22	60,3	0,4
24	64,7	0,4
26	73,1	0,5
28	73,5	0,5
30	76,5	0,6
32	78	0,6
34	84	0,6
36	87	0,7
38	94,8	0,8
40	101	0,8
42	103	0,8
44	105,3	0,8
46	107,8	0,8
48	115,1	0,8
50	117,7	0,8

Hari Ke-	Tinggi Tumbuhan (cm)	Lebar Sisi Batang (cm)
52	121,2	0,9
54	123,7	0,9
56	125,7	0,9
58	129,5	0,9
60	129,6	0,9
62	129,6	0,9
64	129,6	0,9

Pertumbuhan *Scirpus grossus* saat Perbanyakan

Hari Ke-	Tinggi Tumbuhan (cm)	Lebar Sisi Batang (cm)
0	0	0
2	0,2	0,1
4	1,5	0,1
6	7,3	0,2
8	15	0,2
10	19,1	0,2
12	21,5	0,2
14	27,1	0,3
16	36,2	0,3
18	43,7	0,4
20	56	0,4
22	60,3	0,4
24	64,7	0,4
26	73,1	0,5
28	73,5	0,5
30	76,5	0,6
32	78	0,6
34	84	0,6
36	87	0,7
38	94,8	0,8
40	101	0,8
42	103	0,8
44	105,3	0,8
46	107,8	0,8
48	115,1	0,8
50	117,7	0,8
52	121,2	0,9
54	123,7	0,9

Hari Ke-	Tinggi Tumbuhan (cm)	Lebar Sisi Batang (cm)
56	125,7	0,9
58	129,5	0,9
60	129,6	0,9
62	129,6	0,9
64	129,6	0,9

2. *Range Finding Test (RFT)*

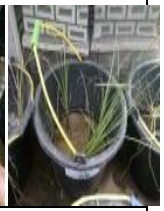
Pengamatan Fisik *Cyperus rotundus L* pada Hari Ke-0 sampai Hari ke-7 untuk Setiap Variasi Konsentrasi Limbah Rebusan

Kadar Limbah	Limbah Rebusan						
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
0%							
10%							

Kadar Limbah	Limbah Rebusan						
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
25%							
50%							

Kadar Limbah	Limbah Rebusan						
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
75%							
100%							

Pengamatan Fisik *Cyperus rotundus L* pada Hari Ke-0 sampai Hari ke-7 untuk Setiap Variasi Konsentrasi Limbah Campuran

Kadar Limbah	Limbah Campuran						
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-1	Hari ke-4	Hari ke-1	Hari ke-6	Hari ke-1
0%							
10%							

25%							
50%							
75%							

100%	

Pengamatan Fisik *Cyperus rotundus L* pada Hari Ke-0 sampai Hari ke-7 untuk Setiap Variasi Konsentrasi Limbah Rendaman

Konsentrasi	Limbah Rendaman						
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
0%							
10%							

25%	
50%	
75%	

100%	

Pengamatan Fisik *Scirpus grossus* pada Hari ke-0 sampai Hari ke-7 untuk Setiap Variasi Konsentrasi Limbah Rebusan

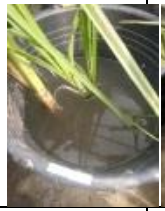
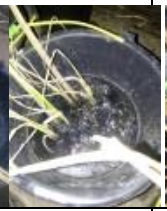
Kadar Limbah	Limbah Rebusan						
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
0%							
10%							

Kadar Limbah	Limbah Rebusan						
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
25%							
50%							
75%							

Kadar Limbah	Limbah Rebusan						
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
100%							

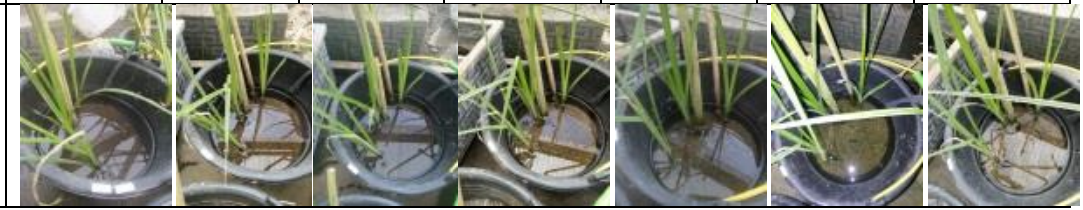
Pengamatan Fisik *Scirpus grossus* pada Hari Ke-0 sampai Hari ke-7 untuk Setiap Variasi Konsentrasi Limbah Campuran

Kadar Limbah	Limbah Campuran						
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
0%							

10%							
25%							
50%							

75%	
100%	

Pengamatan Fisik *Scirpus grossus* pada Hari Ke-0 sampai Hari ke-7 untuk Setiap Variasi Konsentrasi Limbah Rendaman

Kadar Limbah	Limbah Rendaman						
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7
0%							

10%	
25%	
50%	

75%	
100%	

2. Analisis COD

Pengamatan Konsentrasi COD Air Limbah Rebusan Tempe

Hari ke-	COD (mg/L)									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	3200	3800	2800	2920	-	-	-	-	-	-
D2K1	3600	3120	3400	2240	2400	2040	-	-	-	-
D3K1	3600	2520	2560	2280	2400	2200	1400	1600	-	-
D4K1	3320	2520	2480	2280	2440	1600	2200	1520	1400	1030
Kontrol rebusan	3560	3560	3140	3140	3120	3120	2586	2586	2360	2360

Pengamatan Konsentrasi COD Air Limbah Campuran Tempe

Hari ke-	COD (mg/L)									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K2	4000	2440	2800	2160	-	-	-	-	-	-
D2K2	4000	2600	2600	1960	2000	1380	-	-	-	-
D3K2	3800	3240	2700	2680	2360	2520	1400	2400	-	-
D4K2	3560	3240	3200	2680	2200	2360	1760	2200	1000	1120
Kontrol campuran	3720	3720	3600	3600	3480	3480	3440	3440	2350	2350

Pengamatan Konsentrasi COD Air Limbah Rendaman Tempe

Hari ke-	COD (mg/L)									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K3	3400	2400	3000	2083	-	-	-	-	-	-
D2K3	4400	2480	3400	2167	2200	1396	-	-	-	-
D3K3	3400	2280	2667	2140	2591	1840	1974	1600	-	-
D4K3	4440	4280	3200	2480	2200	2280	1560	1600	1180	1170
Kontrol Rendaman	4160	4160	3640	3640	3440	3440	3040	3040	2850	2850

Pengamatan % Penurunan COD Air Limbah Rebusan Tempe

Reaktor	Penurunan COD (%)							
	5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	12,5	23,2	-	-	-	-	-	-
D2K1	5,6	28,2	33,3	34,6	-	-	-	-
D3K1	28,9	9,5	33,3	12,7	61,1	36,5	-	-
D4K1	25,3	9,5	26,5	36,5	33,7	39,7	57,8	59,1
Kontrol Rebusan	11,8	11,8	12,4	12,4	27,4	27,4	33,7	33,7

Pengamatan % Penurunan COD Air Limbah Campuran Tempe

Reaktor	Penurunan COD (%)							
	5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K2	30,0	11,5	-	-	-	-	-	-
D2K2	35,0	24,6	50,0	46,9	-	-	-	-
D3K2	28,9	17,3	37,9	22,2	63,2	25,9	-	-
D4K2	10,1	17,3	38,2	27,2	50,6	32,1	71,9	65,4
Kontrol Campuran	3,2	3,2	6,5	6,5	7,5	7,5	36,8	36,8

Pengamatan % Penurunan COD Air Limbah Rendaman Tempe

Reaktor	Penurunan COD (%)							
	5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K3	11,8	13,2	-	-	-	-	-	-
D2K3	22,7	12,6	50,0	43,7	-	-	-	-
D3K3	21,6	6,1	23,8	19,3	41,9	29,8	-	-
D4K3	27,9	42,1	50,5	46,7	64,9	62,6	73,4	72,7
Kontrol Rendaman	12,5	12,5	17,3	17,3	26,9	26,9	31,5	31,5

Pengamatan Beban COD per Tumbuhan pada Air Limbah Rebusan Tempe

Reaktor	Beban COD per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	1,9	2,5	1,2	0,7	-	-	-	-	-	-
D2K1	2,2	2,1	1,5	0,6	1,7	0,9	-	-	-	-
D3K1	2,2	1,7	1,1	0,6	1,7	1,0	1,0	0,3	-	-
D4K1	2,0	1,7	1,1	0,6	1,7	0,7	1,6	0,3	1,2	0,2
Kontrol Tumbuhan	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,4	0,03	0,4	0,02

Pengamatan Beban COD per Tumbuhan pada Air Limbah Campuran Tempe

Reaktor	Beban COD per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K2	2,4	1,6	1,2	0,5	-	-	-	-	-	-
D2K2	2,4	1,7	1,2	0,5	1,5	0,6	-	-	-	-
D3K2	2,3	2,1	1,2	0,7	1,7	1,1	1,0	0,3	-	-
D4K2	2,2	2,1	1,4	0,7	1,6	1,1	1,3	0,3	0,8	0,2
Kontrol Tumbuhan	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,03	0,4	0,02

Pengamatan Beban COD per Tumbuhan pada Air Limbah Rendaman Tempe

Reaktor	Beban COD per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus	Scirpus	Cyperus	Scirpus	Cyperus	Scirpus	Cyperus	Scirpus	Cyperus	Scirpus
D1K3	2,1	1,6	1,2	0,5	-	-	-	-	-	-
D2K3	2,7	1,6	1,2	0,5	1,6	0,6	-	-	-	-
D3K3	2,1	1,5	1,2	0,5	1,9	0,8	1,5	0,2	-	-
D4K3	2,7	2,8	1,4	0,6	1,6	1,0	1,2	0,2	1,0	0,3
Kontrol Tumbuhan	0,5	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,03	0,4	0,02

Pengamatan Besar Penurunan Beban COD per Tumbuhan pada Air Limbah Rebusan Tempe

Reaktor	Beban COD per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	-	-	0,7	1,8	-	-	-	-	-	-
D2K1	-	-	0,7	1,5	0,5	1,1	-	-	-	-
D3K1	-	-	1,0	1,1	0,5	0,7	1,1	1,4	-	-
D4K1	-	-	0,9	1,1	0,3	0,9	0,4	1,4	0,8	1,4
Kontrol Tumbuhan	-	-	0,6	0,8	1,0	1,8	-0,2	1,9	-0,2	2,0

Pengamatan Besar Penurunan Beban COD per Tumbuhan pada Air Limbah Campuran Tempe

Reaktor	Beban COD per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K2	-	-	1,2	1,1	-	-	-	-	-	-
D2K2	-	-	1,3	1,2	0,9	1,1	-	-	-	-
D3K2	-	-	1,1	1,5	0,6	1,0	1,3	1,8	-	-
D4K2	-	-	0,7	1,5	0,5	1,1	0,9	1,9	1,3	1,9
Kontrol Tumbuhan	-	-	-1,4	0,6	-0,9	1,8	-2,5	1,9	-1,9	2,1

Pengamatan Besar Penurunan Beban COD per Tumbuhan pada Air Limbah Rendaman Tempe

Reaktor	Beban COD per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K3	-	-	0,8	1,1	-	-	-	-	-	-
D2K3	-	-	1,5	1,1	1,0	1,0	-	-	-	-
D3K3	-	-	0,9	1,0	0,1	0,7	0,6	1,3	-	-
D4K3	-	-	1,3	2,2	1,1	1,8	1,5	2,6	1,7	2,6
Kontrol Tumbuhan	-	-	0,3	0,4	1,2	1,8	-0,5	1,7	-0,7	1,8

3. Analisis BOD

Pengamatan Konsentrasi BOD Air Limbah Rebusan Tempe

Hari ke-	BOD (mg/L)									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	3000	1923	2600	1267	-	-	-	-	-	-
D2K1	2800	2493	2600	1467	1786	1240	-	-	-	-
D3K1	2600	2000	2222	1875	1667	1533	1067	1422	-	-
D4K1	2600	1923	1967	1533	1667	742	1111	574	933	431
Kontrol Rebusan	3281	3281	2700	2700	2560	2560	2330	2330	2200	2200

Pengamatan Konsentrasi BOD Air Limbah Campuran Tempe

Hari ke-	BOD (mg/L)									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K2	2857	1550	2151	1227	-	-	-	-	-	-
D2K2	2667	2360	2419	1320	1800	1225	-	-	-	-
D3K2	2586	2962	2400	1907	1344	1882	1300	1143	-	-
D4K2	2700	2400	2027	2027	1357	1703	1100	1402	735	499
Kontrol Rendaman	3467	3467	3071	3071	3000	3000	2071	2071	2000	2000

Pengamatan Konsentrasi BOD Air Limbah Rendaman Tempe

Hari ke-	BOD (mg/L)									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K3	2800	2180	2381	1200	-	-	-	-	-	-
D2K3	2667	2301	2381	1400	1711	1200	-	-	-	-
D3K3	2778	1929	2360	1413	2000	1364	1800	1017	-	-
D4K3	2568	2600	1711	1929	1467	1413	1357	1227	787	440
Kontrol Campuran	3800	3800	2712	2712	2645	2645	2641	2641	2276	2276

Pengamatan % Penurunan BOD Air Limbah Rebusan Tempe

Reaktor	Penurunan BOD (%)							
	5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	13,3	34,1	-	-	-	-	-	-
D2K1	7,1	41,2	36,2	50,3	-	-	-	-
D3K1	14,5	6,3	35,9	23,4	59,0	28,9	-	-
D4K1	24,3	20,3	35,9	61,4	57,3	70,2	64,1	77,6
Kontrol Rebusan	17,7	17,7	22,0	22,0	29,0	29,0	32,9	32,9

Pengamatan % Penurunan BOD Air Limbah Campuran Tempe

Reaktor	Penurunan BOD (%)							
	5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	24,7	20,8	-	-	-	-	-	-
D2K1	9,3	44,1	32,5	48,1	-	-	-	-
D3K1	7,2	35,6	48,0	36,5	49,7	61,4	-	-
D4K1	24,9	15,5	49,7	29,0	59,3	41,6	72,8	79,2
Kontrol Campuran	11,4	11,4	13,5	13,5	40,3	40,3	42,3	42,3

Pengamatan % Penurunan BOD Air Limbah Rendaman Tempe

Reaktor	Penurunan BOD (%)							
	5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	15,0	45,0	-	-	-	-	-	-
D2K1	10,7	39,2	35,8	47,8	-	-	-	-
D3K1	15,0	26,7	28,0	29,3	35,2	47,3	-	-
D4K1	33,4	25,8	42,9	45,7	47,2	52,8	69,4	83,1
Kontrol Rendaman	28,6	28,6	30,4	30,4	30,5	30,5	40,1	40,1

Pengamatan Beban BOD per Tumbuhan pada Air Limbah Rebusan Tempe

Reaktor	Beban BOD per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	1,8	1,3	1,1	0,3	-	-	-	-	-	-
D2K1	1,7	1,6	1,1	0,4	1,3	0,6	-	-	-	-
D3K1	1,6	1,3	1,0	0,5	1,2	0,7	0,8	0,2	-	-
D4K1	1,6	1,3	0,9	0,4	1,2	0,3	0,8	0,1	0,8	0,1
Kontrol Rebusan	2,0	2,2	1,3	1,4	0,9	0,48	2,1	0,41	2,1	0,33

Pengamatan Beban BOD per Tumbuhan pada Air Limbah Campuran Tempe

Reaktor	Beban BOD per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K2	1,7	1,0	1,0	0,3	-	-	-	-	-	-
D2K2	1,6	1,6	1,1	0,3	1,3	0,6	-	-	-	-
D3K2	1,6	2,0	1,1	0,5	1,0	0,9	1,0	0,1	-	-
D4K2	1,6	1,6	0,9	0,5	1,0	0,8	0,8	0,2	0,6	0,1
Kontrol Campuran	2,1	2,3	1,5	1,6	1,1	0,56	1,7	0,36	1,9	0,30

Pengamatan Beban BOD per Tumbuhan pada Air Limbah Rendaman Tempe

Reaktor	Beban BOD per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K3	1,7	1,4	1,0	0,3	-	-	-	-	-	-
D2K3	1,6	1,5	1,1	0,3	1,3	0,5	-	-	-	-
D3K3	1,7	1,3	1,1	0,4	1,5	0,6	1,3	0,1	-	-
D4K3	1,6	1,7	0,9	0,5	1,1	0,6	1,0	0,2	0,7	0,1
Kontrol Rendaman	2,3	2,5	1,3	1,4	1,0	0,49	2,2	0,46	2,2	0,34

Pengamatan Besar Penurunan Beban BOD per Tumbuhan pada Air Limbah Rebusan Tempe

Reaktor	Beban BOD per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	-	-	0,6	1,0	-	-	-	-	-	-
D2K1	-	-	0,5	1,3	0,4	1,1	-	-	-	-
D3K1	-	-	0,6	0,9	0,4	0,6	0,8	1,1	-	-
D4K1	-	-	0,7	0,9	0,4	0,9	0,7	1,2	0,8	1,2
Kontrol Rebusan	-	-	0,7	0,8	1,0	1,7	-0,1	1,8	-0,2	1,8

Pengamatan Besar Penurunan Beban BOD per Tumbuhan pada Air Limbah Campuran Tempe

Reaktor	Beban BOD per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K2	-	-	0,8	0,7	-	-	-	-	-	-
D2K2	-	-	0,5	1,2	0,3	1,0	-	-	-	-
D3K2	-	-	0,5	1,5	0,6	1,1	0,6	1,8	-	-
D4K2	-	-	0,7	1,1	0,6	0,8	0,8	1,4	1,0	1,5
Kontrol Campuran	-	-	0,6	0,7	1,0	1,7	0,4	1,9	0,2	2,0

Pengamatan Besar Penurunan Beban BOD per Tumbuhan pada Air Limbah Rendaman Tempe

Reaktor	Beban BOD per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus	Scirpus	Cyperus	Scirpus	Cyperus	Scirpus	Cyperus	Scirpus	Cyperus	Scirpus
D1K3	-	-	0,7	1,1	-	-	-	-	-	-
D2K3	-	-	0,5	1,2	0,3	1,0	-	-	-	-
D3K3	-	-	0,6	0,9	0,2	0,7	0,4	1,1	-	-
D4K3	-	-	0,7	1,2	0,5	1,1	0,6	1,6	0,9	1,6
Kontrol Rendaman	-	-	1,0	1,1	1,3	2,0	0,1	2,1	0,1	2,2

4. Analisis *Total Suspended Solid* (TSS)

Pengamatan Konsetrasi TSS Air Limbah Rebusan Tempe

Hari ke-	TSS (mg/L)									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	3200	3300	2900	2300	-	-	-	-	-	-
D2K1	3500	3700	3100	3000	1900	2900	-	-	-	-
D3K1	3100	3400	2600	2900	2500	2300	1200	1300	-	-
D4K1	3900	3300	3500	2700	2900	2600	2000	1900	1500	700
Kontrol Rebusan	2600	2600	2000	2000	1900	1900	1600	1600	1500	1500

Pengamatan Konsetrasi TSS Air Limbah Campuran Tempe

Hari ke-	TSS (mg/L)									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K2	3300	2400	2900	1700	-	-	-	-	-	-
D2K2	2900	3700	2100	2300	1900	1400	-	-	-	-
D3K2	3300	2900	3200	2700	2900	2200	1800	1500	-	-
D4K2	3200	3300	3100	3100	2900	2900	2600	2600	1300	1300
Kontrol Campuran	3300	3300	3200	3200	2400	2400	2000	2000	1900	1900

Pengamatan Konsetrasi TSS Air Limbah Rendaman Tempe

Hari ke-	TSS (mg/L)									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K3	2300	2300	1300	1000	-	-	-	-	-	-
D2K3	3500	3500	3000	2500	1000	2300	-	-	-	-
D3K3	3500	3200	3000	2700	1700	2500	1300	1100	-	-
D4K3	3000	3200	2700	2700	2000	2600	1400	1700	1100	1000
Kontrol Rendaman	3300	3300	2600	2600	2600	2600	2200	2200	1900	1900

Pengamatan % Penurunan TSS Air Limbah Rebusan Tempe

Reaktor	Penurunan TSS (%)							
	5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	9,4	30,3	-	-	-	-	-	-
D2K1	11,4	18,9	45,7	21,6	-	-	-	-
D3K1	16,1	14,7	19,4	32,4	61,3	61,8	-	-
D4K1	10,3	18,2	25,6	21,2	48,7	42,4	61,5	78,8
Kontrol Rebusan	23,1	23,1	26,9	26,9	38,5	38,5	42,3	42,3

Pengamatan % Penurunan TSS Air Limbah Campuran Tempe

Reaktor	Penurunan TSS (%)							
	5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	12,1	29,2	-	-	-	-	-	-
D2K1	27,6	37,8	34,5	62,2	-	-	-	-
D3K1	3,0	6,9	12,1	24,1	45,5	48,3	-	-
D4K1	3,1	6,1	9,4	12,1	18,8	21,2	59,4	60,6
Kontrol Campuran	3,0	3,0	27,3	27,3	39,4	39,4	42,4	42,4

Pengamatan % Penurunan TSS Air Limbah Rendaman Tempe

Reaktor	Penurunan TSS (%)							
	5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	43,5	56,5	-	-	-	-	-	-
D2K1	14,3	28,6	71,4	34,3	-	-	-	-
D3K1	14,3	15,6	51,4	21,9	62,9	65,6	-	-
D4K1	10,0	15,6	33,3	18,8	53,3	46,9	63,3	68,8
Kontrol Rendaman	21,2	21,2	21,2	21,2	33,3	33,3	42,4	42,4

Pengamatan Beban TSS per Tumbuhan pada Air Limbah Rebusan Tempe

Reaktor	Beban TSS per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	1,9	2,2	1,3	0,6	-	-	-	-	-	-
D2K1	2,1	2,4	1,4	0,7	1,3	1,3	-	-	-	-
D3K1	1,9	2,2	1,1	0,7	1,8	1,0	0,9	0,2	-	-
D4K1	2,3	2,2	1,5	0,7	2,1	1,2	1,5	0,3	1,3	0,2
Kontrol Tumbuhan	0,5	0,5	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,02	0,1	0,02

Pengamatan Beban TSS per Tumbuhan pada Air Limbah Campuran Tempe

Reaktor	Beban TSS per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K2	2,0	1,6	1,3	0,4	-	-	-	-	-	-
D2K2	1,8	2,4	0,9	0,6	1,4	0,6	-	-	-	-
D3K2	2,0	1,9	1,4	0,7	2,1	1,0	1,3	0,2	-	-
D4K2	1,9	2,2	1,4	0,8	2,1	1,3	1,9	0,3	1,1	0,3
Kontrol Tumbuhan	0,4	0,5	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,02	0,1	0,02

Pengamatan Beban TSS per Tumbuhan pada Air Limbah Rendaman Tempe

Reaktor	Beban TSS per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K3	1,4	1,5	1,3	0,2	-	-	-	-	-	-
D2K3	2,1	2,3	0,9	0,6	0,7	1,0	-	-	-	-
D3K3	2,1	2,1	1,4	0,7	1,3	1,1	1,0	0,1	-	-
D4K3	1,8	2,1	1,4	0,7	1,5	1,2	1,0	0,2	0,9	0,2
Kontrol Tumbuhan	0,5	0,5	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,02	0,1	0,02

Pengamatan Besar Penurunan Beban TSS per Tumbuhan pada Air Limbah Rebusan Tempe

Reaktor	Beban TSS per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	-	-	0,6	1,6	-	-	-	-	-	-
D2K1	-	-	0,7	1,7	0,7	1,1	-	-	-	-
D3K1	-	-	0,7	1,5	0,1	1,2	1,0	2,1	-	-
D4K1	-	-	0,8	1,5	0,3	1,0	0,9	1,9	1,1	2,0
Kontrol Tumbuhan	-	-	0,6	0,7	0,9	1,4	0,1	1,4	0,1	1,5

Pengamatan Besar Penurunan Beban TSS per Tumbuhan pada Air Limbah Campuran Tempe

Reaktor	Beban TSS per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K2	-	-	0,7	1,2	-	-	-	-	-	-
D2K2	-	-	0,8	1,9	0,4	1,8	-	-	-	-
D3K2	-	-	0,6	1,2	-0,1	0,9	0,7	1,7	-	-
D4K2	-	-	0,6	1,4	-0,2	0,9	0,0	1,9	0,9	1,9
Kontrol Tumbuhan	-	-	-1,2	0,5	-0,5	1,7	-1,3	1,8	-1,4	1,9

Pengamatan Besar Penurunan Beban TSS per Tumbuhan pada Air Limbah Rendaman Tempe

Reaktor	Beban TSS per Tumbuhan									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K3	-	-	0,1	1,3	-	-	-	-	-	-
D2K3	-	-	1,2	1,7	1,4	1,3	-	-	-	-
D3K3	-	-	0,7	1,4	0,9	1,0	1,2	2,0	-	-
D4K3	-	-	0,4	1,4	0,3	0,9	0,8	1,9	0,9	1,9
Kontrol Tumbuhan	-	-	0,8	0,8	1,0	1,7	0,2	1,8	0,2	1,9

5. Analisis Suhu dan pH

Suhu Air Limbah Rebusan Tempe

Hari ke-	Suhu (^{0}C)									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	31,0	31,0	31,0	31,0	-	-	-	-	-	-
D2K1	31,0	31,0	31,0	31,0	30,0	31,0	-	-	-	-
D3K1	31,0	30,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	30,0	-	-
D4K1	31,0	31,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	30,0	30,0
Kontrol Rebusan	31,0	31,0	31,0	31,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0

Suhu Air Limbah Campuran Tempe

Hari ke-	Suhu (^{0}C)									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K2	31,0	31,0	31,0	31,0	-	-	-	-	-	-
D2K2	31,0	31,0	31,0	30,0	30,0	30,0	-	-	-	-
D3K2	31,0	31,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	-	-
D4K2	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	30,0	30,0
Kontrol Campuran	31,0	31,0	31,0	31,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0

Suhu Air Limbah Rendaman Tempe

Hari ke-	Suhu (^{0}C)									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K3	31,0	31,0	31,0	31,0	-	-	-	-	-	-
D2K3	31,0	31,0	31,0	31,0	30,0	31,0	-	-	-	-
D3K3	31,0	31,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	-	-
D4K3	31,0	31,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	30,0	30,0
Kontrol rendaman	31,0	31,0	31,0	31,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0

pH Air Limbah Rebusan Tempe

Hari ke-	pH									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K1	4,7	6,8	7,6	7,8	-	-	-	-	-	-
D2K1	4,7	8,9	7,9	8,2	8,3	8,1	-	-	-	-
D3K1	4,7	6,8	7,5	7,7	8,1	8,0	7,0	7,9	-	-
D4K1	4,7	7,1	7,2	7,9	8,1	8,2	7,6	7,4	8,1	7,6
Kontrol Rebusan	4,7	4,7	5,2	5,2	8,8	8,8	10,3	10,3	8,4	8,3

pH Air Limbah Campuran Tempe

Hari ke-	pH									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K2	4,6	4,7	7,9	7,6	-	-	-	-	-	-
D2K2	4,6	4,5	8,4	7,9	8,8	8,2	-	-	-	-
D3K2	4,6	5,3	8,0	7,8	8,8	8,1	7,4	7,9	-	-
D4K2	4,6	5,4	8,3	8,0	8,8	7,8	7,6	7,1	8,5	8,1
Kontrol Campuran	4,6	4,6	6,2	6,2	8,3	8,3	9,5	9,5	8,2	8,1

pH Air Limbah Rendaman Tempe

Hari ke-	pH									
	0		5		10		15		20	
	Cyperus rotundus	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*	*Cyperus rotundus*	*Scirpus grossus*
D1K3	4,4	6,3	8,2	7,8	-	-	-	-	-	-
D2K3	4,4	7,4	8,2	8,5	9,0	8,8	-	-	-	-
D3K3	4,4	6,7	7,8	7,8	8,7	8,0	11,7	7,8	-	-
D4K3	4,4	7,4	8,1	8,4	8,7	8,5	7,4	9,0	9,0	7,7
Kontrol Rendaman	4,4	4,6	6,0	6,2	7,7	8,3	12,1	9,5	8,2	8,1

5. Analisis Berat Kering

Berat Kering dengan Waktu Tinggal (Td) 0 Hari

Reaktor	Berat (Gr)		Kadar air (%)
	Berat basah	Berat kering	
Kontrol *Cyperus*	6,3	1,1	82,2
Rebusan *Cyperus*	6,3	1,1	82,2
Campuran *Cyperus*	6,3	1,1	82,2
Rendaman *Cyperus*	6,3	1,1	82,2
Kontrol *Scirpus*	8,0	1,1	86,9
Rebusan *Scirpus*	8,0	1,1	86,9
Campuran *Scirpus*	8,0	1,1	86,9
Rendaman *Scirpus*	8,0	1,1	86,9

Berat Kering dengan Waktu Tinggal (Td) 5 Hari

Reaktor	Berat (Gr)		Kadar air (%)
	Berat basah	Berat kering	
Kontrol *Cyperus*	6,6	1,4	79,1
Rebusan *Cyperus*	7,8	1,5	80,6
Campuran *Cyperus*	3,8	0,7	81,7
Rendaman *Cyperus*	5,1	1,0	79,7
Kontrol *Scirpus*	9,1	1,4	84,2
Rebusan *Scirpus*	15,1	2,9	80,7
Campuran *Scirpus*	20,2	3,7	81,6
Rendaman *Scirpus*	7,2	1,6	78,3

Berat Kering dengan Waktu Tinggal (Td) 10 Hari

Reaktor	Berat (Gr)		Kadar air (%)
	Berat basah	Berat kering	
Kontrol *Cyperus*	7,9	1,8	77,2
Rebusan *Cyperus*	4,4	0,9	78,4
Campuran *Cyperus*	4,7	1,1	76,0

Reaktor	Berat (Gr)		Kadar air (%)
	Berat basah	Berat kering	
Rendaman *Cyperus*	4,8	1,0	79,7
Kontrol *Scirpus*	21,6	3,9	81,9
Rebusan *Scirpus*	9,7	1,6	83,5
Campuran *Scirpus*	13,5	2,2	84,0
Rendaman *Scirpus*	25,9	5,3	79,4

Berat Kering dengan Waktu Tinggal (Td) 15 Hari

Reaktor	Berat (Gr)		Kadar air (%)
	Berat basah	Berat kering	
Kontrol *Cyperus*	6,9	0,8	89,0
Rebusan *Cyperus*	4,7	0,9	81,8
Campuran *Cyperus*	4,7	1,0	78,0
Rendaman *Cyperus*	4,4	0,9	79,8
Kontrol *Scirpus*	20,8	4,2	79,9
Rebusan *Scirpus*	28,2	5,7	79,9
Campuran *Scirpus*	15,1	2,7	82,3
Rendaman *Scirpus*	11,3	1,4	87,5

Berat Kering dengan Waktu Tinggal (Td) 20 Hari

Reaktor	Berat (Gr)		Kadar air (%)
	Berat basah	Berat kering	
Kontrol *Cyperus*	6,7	0,7	89,7
Rebusan *Cyperus*	6,8	0,8	88,5
Campuran *Cyperus*	5,4	0,7	87,6
Rendaman *Cyperus*	4,2	0,5	87,6
Kontrol *Scirpus*	25,6	4,9	81,0
Rebusan *Scirpus*	20,7	3,4	83,7
Campuran *Scirpus*	31,5	4,5	85,7
Rendaman *Scirpus*	25,6	6,1	76,1

6. Analisis Kondisi Tumbuhan

Pengamatan Kondisi Tumbuhan *Cyperus rotundus L*

a. Panjang Akar

Reaktor	Hari ke-				
	0	5	10	15	20
Rebusan	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0
Campuran	5,0	5,0	6,5	7,0	9,0
Rendaman	5,0	5,0	5,5	5,5	5,6
Kontrol *Cyperus*	5,0	5,0	7,5	11,0	18,5

b. Panjang Batang

Reaktor	Hari ke-				
	0	5	10	15	20
Rebusan	11,0	12,0	12,5	13,0	15,0
Campuran	10,0	10,0	12,0	13,5	13,5
Rendaman	10,0	10,0	11,0	13,5	13,5
Kontrol *Cyperus*	12	16	18	20	22

c. Pertambahan Panjang Batang

Pertambahan Panjang Batang *Cyperus rotundus L*. (Cm)				
Reaktor	Hari ke-			
	5	10	15	20
Rebusan	1,0	1,5	2,0	4,0
Campuran	0,0	2,0	3,5	3,5
Rendaman	0,0	1,0	3,5	3,5
Kontrol *Cyperus*	4,0	6,0	8,0	10,0

d. Tunas Baru

Reaktor	Banyak Tunas pada Hari ke-				
	0	5	10	15	20
Rebusan	0	0	0	4	5
Campuran	0	0	2	7	9
Rendaman	0	0	0	4	7
Kontrol *Cyperus*	0	7	13	18	24

Pengamatan Kondisi Tumbuhan *Scirpus grossus*

a. Panjang Akar

Reaktor	Hari ke-				
	0	5	10	15	20
Rebusan	4,0	9,5	11,5	15,0	20,0
Campuran	4,0	10,0	15,0	20,0	28,0
Rendaman	4,0	12,0	17,0	24,0	31,0
Kontrol *Scirpus*	4,0	14,0	18,5	28,0	38,0

b. Panjang Batang

Reaktor	Hari ke-				
	0	5	10	15	20
Rebusan	20,0	21,0	22,0	23,0	26,0
Campuran	20,0	22,0	24,0	25,0	30,0
Rendaman	20,0	20,0	22,0	23,0	29,0
Kontrol *Scirpus*	20,0	29,0	35,0	36,0	38,0

c. Pertambahan Panjang Batang

Pertambahan Panjang Batang *Scirpus grossus* (Cm)				
Reaktor	Hari ke-			
	5	10	15	20
Rebusan	1,0	2,0	3,0	6,0
Campuran	2,0	4,0	5,0	10,0
Rendaman	0,0	2,0	3,0	9,0
Kontrol *Scirpus*	9,0	15,0	16,0	18,0

d. Tunas Baru

Reaktor	Banyak Tunas pada Hari ke-				
	0	5	10	15	20
Rebusan	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
Campuran	0,0	0,0	0,0	3,0	4,0
Rendaman	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0
Kontrol *Scirpus*	0,0	0,0	2,0	4,0	5,0

LAMPIRAN C
Dokumentasi Penelitian

Uji RFT

Uji *Phytotreatment*

Analisis COD

Analisis Berat Kering

Analisis BOD

Propagasi Tumbuhan

Analisis TSS

Analisis pH

Proses Pembuatan Tempe

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS

Penulis merupakan putri Simalungun yang lahir pada tahun 1996. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2001-2007 di SDN 094177 Saribudolok. Kemudian dilanjutkan di SMPN 1 Silimakuta pada tahun 2007-2010, sedangkan pendidikan tingkat atas dilalui di SMAN 1 Raya dari tahun 2010-2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian, ITS, Surabaya pada Tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3313 100 041. Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai penitia di berbagai kegiatan HMTL, dan aktif berorganisasi sebagai Staff Komunitas Persekutuan Doa (PDTL) periode 2014-2015 kemudian menjadi Ketua Komunitas Persekutuan Doa (PDTL) periode 2015-2016. Penulis juga aktif di Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK) ITS dan menjadi kakak bimbing pada periode 2015-2016 dan sebagai Sekretaris Panitia Natal-Paskah pada periode 2015-2016. Penulis dapat dihubungi via email marissaoliviadamanik@gmail.com .

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : [illegible]
NRP : [illegible]
Judul Tugas Akhir : Phytotreatment - Limbah Cair Tempe dengan Menggunakan Cyperus rotundus dan Scirpus grossus.

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	02-02-2017	Pendahuluan dan reaktor yang akan disiapkan untuk RFT tumbuhan cyperus	
2.	05-03-2017	- Lanjutan mengenai RFT	
3.	11-04-2017	Asistensi mengenai pendahuluan / persiapan untuk fitotreatment cyperus.	
4.	18-04-2017	Asistensi Bab IV (pembahasan RFT tanaman scirpus)	
5.	13-09-2017	Asistensi Bab IV (Pembahasan hasil analisis lab)	
6.	25-10-2017	Asistensi Bab IV (Tetap pembahasan hasil analisis lab)	
7.	01-11-2017	Asistensi Bab IV (Revisi grafik hasil analisis) dan persiapan seminar progres	
8.	18 Desember 17	Asistensi semua bab (kelengkapan dan pembahasan)	

Surabaya, 20 Desember 2017
Dosen Pembimbing

[illegible] FITRI PURWANTI, ST, MT, PL.D
1971 1114 200312 2001

PROGRAM SARJANA JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN FTSP-ITS
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

PTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
Periode: Genap 2017/2018 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal: Selasa, 14 November 2017
Pukul: 07.00 - 09.00 WIB
Lokasi: Ruang Sidang
Judul: Phytotreatment Limbah Cair Tempe dengan Menggunakan Cyperus rotundus L. dan Scirpus grossus

Nilai TOEFL 457

Nama: Marissa Olivia Damanik
NRP: 03211340000041
Topik: Fitoremediasi (Penelitian)

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Tugas Akhir
1	penjelasan dr grafik berat basah, kering & kadar air v/ kedua jenis tanaman
2	penulisan tumbuhan sesuaikan aturan
3	uji statistik v/ menentukan yg optimum
4	beban pencemar per tumbuhan
5	Data per varian td ditampilkan.

26/12 17

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

( )

Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD.

PROGRAM SARJANA JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN FTSLK-ITS
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp: 031-5946888, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Ganjil 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 09 Januari 2018
Pukul : 10.00-12.00 WIB
Lokasi : TL-102
Judul : Phytotreatment Limbah Cair Tempo dengan Menggunakan Cyperus rotundus L. dan Scirpus grossus

Nilai TOEFL 457

Nama : Marissa Olivia Damanik
NRP. : 03211340000041
Topik : Penelitian

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
1/	Abstrak terlalu panjang
2/	Penulisan → beberapa gbr blm disebut di blm teks (Gbr 2.2 & 2.3) → cek yg lain
3/	Cek beda pertumbuhan antara kontrol dg reaktor uji (cm/hari)
4/	Beri penjelasan beban parameter yg naik turun terutama di hari ke 10 – 15
5/	Pilih tumbuhan yg mana v/ pengolahan lubah tempe:
6/	Cek margin kertas

17/1 18.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

( )

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember

FORM FTA-05

FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : Marissa Olivia Damanik
NRP : 03211340000041
Judul Tugas Akhir : Phytoremediasi Limbah Cair Tempe dengan Menggunakan Cyperus rotundus, dan Eichhornia crassus

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Abstrak terlalu panjang	Sudah diperbaiki sesuai saran penguji dan pembimbing
2.	Ruang lingkup ditambahkan	Sudah diperbaiki dengan menampah sistem aliran pada reaktor yaitu Batch.
3.	Data besar penyisihan per parameter oleh media	Sudah ditambahkan pada Lampiran B
4.	Cek pada pertumbuhan antara kontrol dengan reaktor uji	Data pertumbuhan dilampirkan pada Lampiran B
5	Penjelasan beban parameter yang naik turun terutama dihari ke 10 - 15	Sudah ditambah dibagian pembahasan
6.	Kata Removal diganti sesuai GYD	Diganti sebo menjadi "penurunan"
7.	Kata morfologi diganti	Diganti menjadi pertumbuhan

Dosen Pembimbing,

Ipung Fitri Purwanti, St, MT. PhD.

Mahasiswa Ybs.,

Marissa Olivia Damanik