

**FITOREMEDIASI LIMBAH CAIR PABRIK TAHU DENGAN
MENGUNAKAN TANAMAN KANGKUNG AIR**

Oleh

DONI WAHYU HARDIAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
PROGRAM STUDI ILMU TANAH
MALANG
2007**

**FITOREMEDIASI LIMBAH CAIR PABRIK TAHU DENGAN
MENGUNAKAN TANAMAN KANGKUNG AIR**

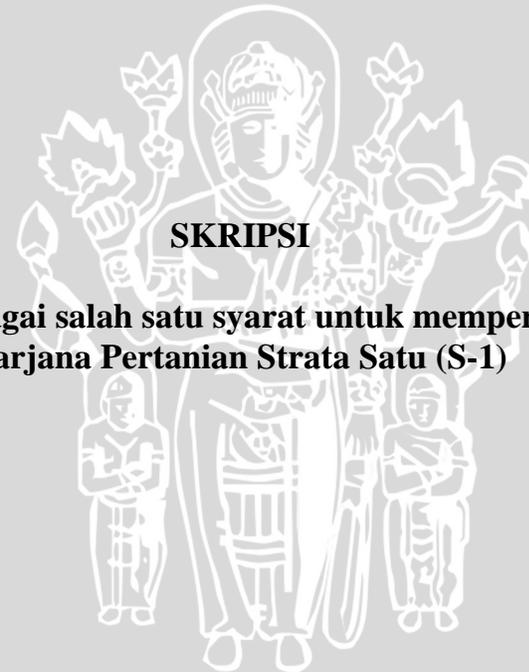
Oleh

DONI WAHYU HARDIAN

0310430015-43

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar
Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
PROGRAM STUDI ILMU TANAH
MALANG
2007**

Surat pernyataan skripsi

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DONI WAHYU HARDIAN

NIM : 0310430015-43

Jurusan/Program studi: Tanah/Ilmu Tanah

Menyatakan bahwa skripsi berjudul:

**"FITOREMEDIASI LIMBAH CAIR PABRIK TAHU DENGAN
MENGUNAKAN TANAMAN KANGKUNG AIR"**

merupakan karya tulis yang saya buat sendiri dan bukan merupakan bagian dari skripsi maupun tulisan penulis lain. Bilamana ternyata di kemudian hari pernyataan saya tidak benar, maka saya sanggup menerima sanksi akademik apapun yang ditetapkan oleh Universitas Brawijaya.

Malang, Desember 2007

Yang menyatakan,

Doni Wahyu Hardian

NIM. 0310430015-43

Mengetahui,

Dosen pembimbing I,

Dosen pembimbing II,

Prof. Ir. Eko Handayanto, MSc. PhD.

NIP. 130 704 145

Dr. Ir. Zaenal Kusuma, MS.

NIP. 130 935 806

Ketua Jurusan,

Prof. Dr. Ir. Mochtar Luthfi Rayes, MSc.

NIP. 130 818 808

Judul Skripsi : **FITOREMEDIASI LIMBAH CAIR PABRIK
TAHU DENGAN MENGGUNAKAN TANAMAN
KANGKUNG AIR**

Nama Mahasiswa : DONI WAHYU HARDIAN

NIM : 0310430015-43

Jurusan : TANAH

Menyetujui : Dosen Pembimbing

Pertama,

Kedua,

Prof. Ir. Eko Handayanto, MSc. PhD.
NIP. 130 704 145

Dr. Ir. Zaenal Kusuma, MS.
NIP. 130 935 806

Mengetahui,
Ketua Jurusan

Prof. Dr. Ir. Mochtar Luthfi Rayes, MSc.
NIP. 130 818 808

Tanggal Persetujuan :

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Dr. Ir. Budi Prasetya, MS.
NIP. 131 691 010

Prof. Ir. Eko Handayanto, MSc. PhD.
NIP. 130 704 145

Penguji III

Penguji IV

Dr. Ir. Zaenal Kusuma, MS.
NIP. 130 935 806

Ir. Sunarto Ismunandar, MS.
NIP. 130 802 233

Tanggal Lulus :





Skripsi ini kupersembahkan untuk

Kedua Orang tua tercinta dan Adikku tersayang

RINGKASAN

Doni Wahyu Hardian. 0310430015. **Fitoremediasi Limbah Cair Pabrik Tahu dengan Menggunakan Tanaman Kangkung Air**. Di bawah bimbingan: Prof. Ir. Eko Handayanto, MSc. PhD. dan Dr. Ir. Zaenal Kusuma, MS.

Limbah cair pabrik tahu mengandung zat organik dan zat tersuspensi yang tinggi serta menunjukkan sifat asam. Beban pencemar organik yang sangat tinggi menyebabkan kadar oksigen terlarut di dalam air menurun drastis. Dampak lain dari limbah tersebut yaitu timbulnya bau busuk yang disebabkan terbentuknya amoniak dan sulfida. Salah satu cara yang dapat menanggulangi limbah cair pabrik tahu yang terkontaminasi dengan perairan yaitu fitoremediasi. Tumbuhan air yang digunakan sebagai remediator terhadap limbah adalah kangkung air (*Ipomoea aquatica*). Kangkung air memiliki sifat toleran dan hiperakumulator terhadap limbah yaitu suatu kemampuan tanaman untuk mengakumulasi limbah pada jaringan akar dan tajuknya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan kangkung air dalam meremediasi limbah cair pabrik tahu, penurunan BOD, COD dan TSS setelah proses fitoremediasi dan tingkat kelangsungan hidup ikan air tawar pada berbagai konsentrasi. Penelitian dilakukan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Widyagama Malang pada bulan Maret - Mei 2007.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok faktorial yang terdiri dari 2 faktor dengan 3 ulangan yaitu faktor pemberian kangkung air yang terdiri atas dua taraf yaitu pemberian kangkung air (K) dan juga tanpa pemberian kangkung air (T), dan faktor konsentrasi limbah cair pabrik tahu yang terdiri dari enam taraf yaitu konsentrasi 100 % limbah, 80 % limbah, 60 % limbah, 40 % limbah, 20 % limbah dan 0 % limbah cair tahu, yang masing-masing dilakukan pengenceran dengan air tawar. Wadah yang digunakan berupa bak plastik dengan volume pemberian limbah dan atau air sebanyak 30 L, kemudian diberikan 150 g kangkung air ke dalam wadah tersebut. Pemberian ikan nila dilakukan dua kali yaitu di awal dan setelah 28 hari penelitian. Ikan nila yang digunakan hanya sebagai bioindikator perairan. Parameter yang diamati ada tiga yaitu parameter limbah, tanaman dan parameter ikan. Parameter limbah terdiri dari BOD, COD, TSS, DO, N total, P total dan pH, sedangkan parameter tanaman yaitu klorofil daun, jumlah daun, tinggi tanaman, berat basah dan berat kering tanaman. Untuk parameter ikan yang diamati yaitu tingkat kelangsungan hidupnya. Data yang diperoleh kemudian diujikan menggunakan analisis ragam pada taraf sangat nyata ($P < 0,01$) dan taraf nyata ($P < 0,05$). Setelah itu dilakukan uji perbandingan Duncan pada taraf nyata ($P < 0,05$) dan uji korelasi dengan taraf 5% untuk mengetahui hubungan antar variabel perlakuan.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kangkung air mampu menurunkan kadar limbah cair pabrik tahu pada konsentrasi limbah yang rendah dengan tingkat pengenceran air yang tinggi.

SUMMARY

Doni Wahyu Hardian. 0310430015. **Phytoremediation of Tahu Factory Liquid Waste Using aquatic Ipomoea. Supervised by Prof. Ir. Eko Handayanto, MSc. PhD. and Dr. Ir. Zaenal Kusuma, MS.**

Tahu factory liquid waste contain high organic and TSS matter and also to show characteristic acid. High burden organic dirty cause dissolved oxygen (DO) in the water reduce pointed. Another effect from that waste is emerge rotten smell result to be shaped ammonia and sulfide. One kind method to surpass tahu factory liquid waste that contaminate with waters is phytoremediation. The water plant that used as waste remediator is aquatic ipomoea (*Ipomoea aquatica*). Aquatic *Ipomoea* has tolerance and hipercumulator characteristic against liquid waste were plant capacity to reserve waste on root and their crown. The purpose of this research were to know water plant ability on remediation tahu factory liquid waste, discharge BOD, COD and TSS after phytoremediation process, and level of fish life in kind of concentration. This research was carried out from March to May, 2007 in the glass house of agriculture faculty, Widyagama University, Malang.

This study were two factor experiment by randomized block design with three replications. Factor one consisted of gift aquatic *Ipomoea* factor with two phase that is gift aquatic *Ipomoea* (K) and without gift aquatic *Ipomoea* (T), and factor two were concentrations of tahu factory liquid waste consisted of six phase with the treatments were of 100% waste concentration, 80% waste, 60% waste, 40% waste, 20% waste and 0% tahu liquid waste with raised fresh water. The place that used look like basin plastic with gift waste or water volume were 30 L, then present 150 g aquatic *Ipomoea* into that basin. The gift of nila fish performed twice that is in beginning and after the day of 28 research. Nila fish used only as waters bioindicator. Found 3 parameters that observed on this research are waste parameters, plant, and fish parameters. Waste parameters consisted of BOD, COD, TSS, DO, N total, P total, and pH. And then plant parameters consisted of leaf chlorophyll, total of leaf, tall of plant, wet heavy and dry heavy of plant. For fish parameters that observed are level of their life. Data obtained was analyzed using analysis of variance (ANOVA) where $P < 0,01$ and $P < 0,05$. After that performed Duncan's multiple range test ($P < 0,05$). And correlation test with phase of 5% for to know relations conducted variable treatments.

The result of this experiment was aquatic *Ipomoea* to be able to drop tahu factory liquid waste level in low waste concentration with high watery.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas segala rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Fitoremediasi Limbah Cair Pabrik Tahu dengan Menggunakan Tanaman Kangkung Air” yang diajukan sebagai tugas akhir dalam rangka menyelesaikan studi di Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Ir. Eko Handayanto, MSc. PhD. dan Dr. Ir. Zaenal Kusuma, MS. selaku dosen pembimbing kami yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing penulisan skripsi ini.
2. Dr. Ir. Budi Prasetya, MS. dan Ir. Sunarto Ismunandar, MS. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dalam perbaikan skripsi kami.
3. Prof. Dr. Ir. Mochtar Luthfi Rayes, MSc. selaku Ketua Jurusan Tanah.
4. Dekan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.
5. Bapak dan Ibu kami yang selalu memberikan dorongan baik moril maupun materil serta doa yang selalu dipanjatkan kepada kami.
6. Seluruh staf Jurusan Tanah, terima kasih atas saran dan bantuannya selama ini.
7. Staf laboratorium Biologi Fakultas MIPA Unibraw, PERUM Jasa Tirta I dan staf laboratorium UWG, terima kasih atas bantuannya.
8. Teman-teman angkatan 2000, 2001, 2002, 2004, 2005, 2006, khususnya angkatan 2003, terima kasih atas dukungan dan kerjasamanya selama ini.
9. Penghargaan yang tulus disampaikan kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung ikut membantu dalam penulisan skripsi ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

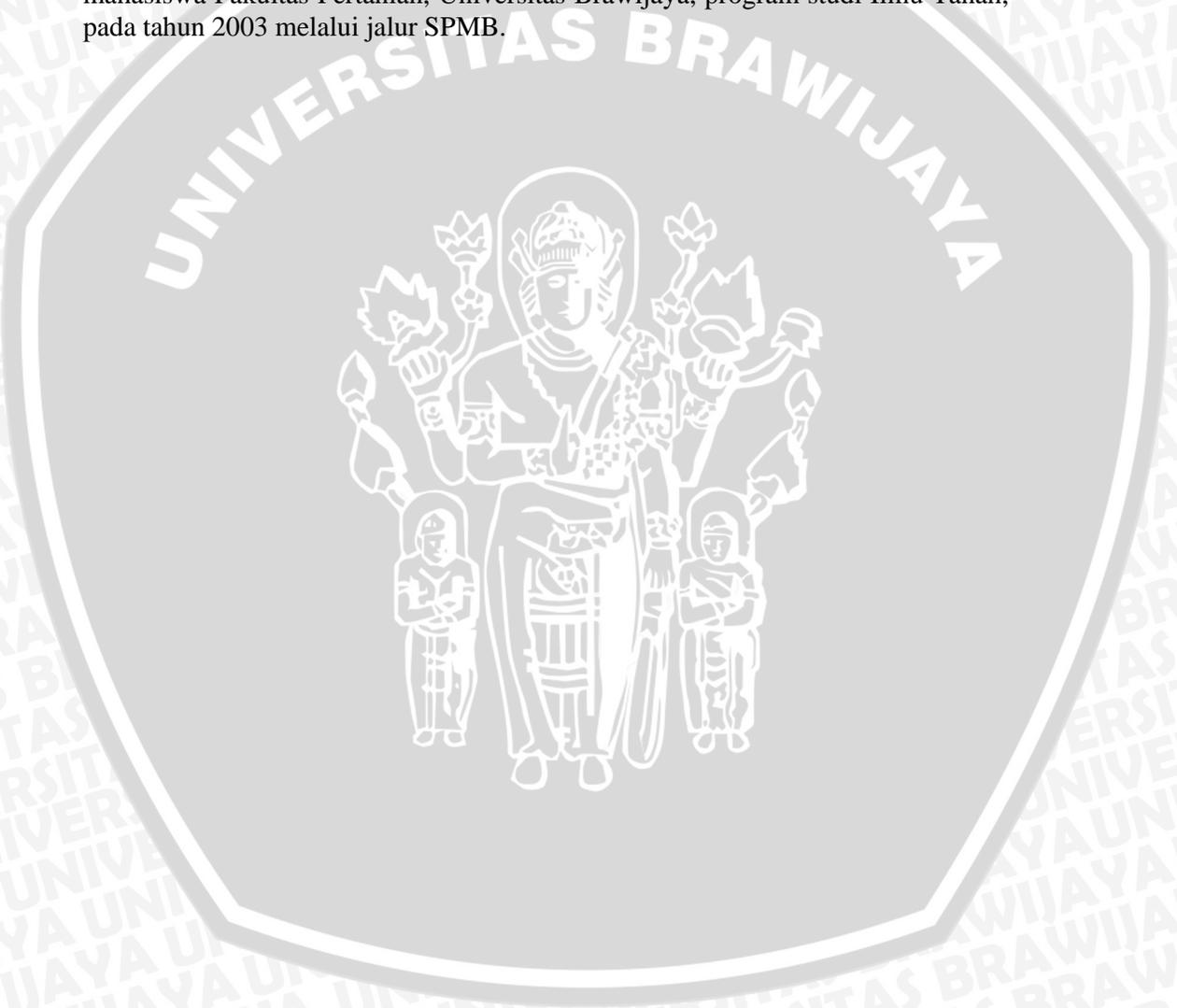
Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, saran dan kritik membangun sangat penulis harapkan guna tercapainya tujuan yang diharapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Malang, Desember 2007

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Maros, Sulawesi Selatan, pada tanggal 15 April 1985 dan merupakan putra pertama dari dua bersaudara dengan seorang ayah yang bernama Drs. Utojo, MS. dan seorang ibu bernama Dr. Ir. Soenartingsih, MSc. Penulis memulai pendidikan dengan menjalani pendidikan dasar di SD Negeri 3 Maros (1991-1997), dan melanjutkan ke SLTP Negeri 2 Maros (1997-2000), kemudian meneruskan ke SMU Negeri 1 Maros (2000-2003). Penulis menjadi mahasiswa Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, program studi Ilmu Tanah, pada tahun 2003 melalui jalur SPMB.



DAFTAR ISI

RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I. PENDAHULUAN	1
1. Latar Belakang	1
2. Tujuan Penelitian	4
3. Hipotesis Penelitian	4
4. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
1. Fitoremediasi	5
2. Limbah Cair Pabrik Tahu	9
3. Fisiologi Tanaman Kangkung Air	10
4. Penyerapan Limbah oleh Kangkung Air	11
5. Kondisi Lingkungan Perairan	12
6. Efek Limbah Cair Pabrik Tahu terhadap Klorofil Kangkung Air	18
7. Efek Fitoremediasi terhadap Kelangsungan Hidup Ikan Nila	19
III. METODE PENELITIAN	21
1. Lokasi dan Waktu Pelaksanaan Penelitian	21
2. Bahan Penelitian	21
3. Tahap Persiapan Penelitian	21
4. Tahap Pelaksanaan Penelitian	21
5. Metode Pengamatan dan Analisis Data	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
1. Parameter Kualitas Air pada Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Pabrik Tahu Secara Simultan	27
2. Parameter Kualitas Air	30
3. Pengaruh Berbagai Limbah Cair Tahu terhadap Klorofil, Jumlah Daun, Tinggi Tanaman, Berat Basah dan Berat Kering Tanaman Kangkung Air	52
4. Ketahanan Hidup Ikan Nila terhadap Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu Setelah Fitoremediasi dengan Tanaman Kangkung Air	60

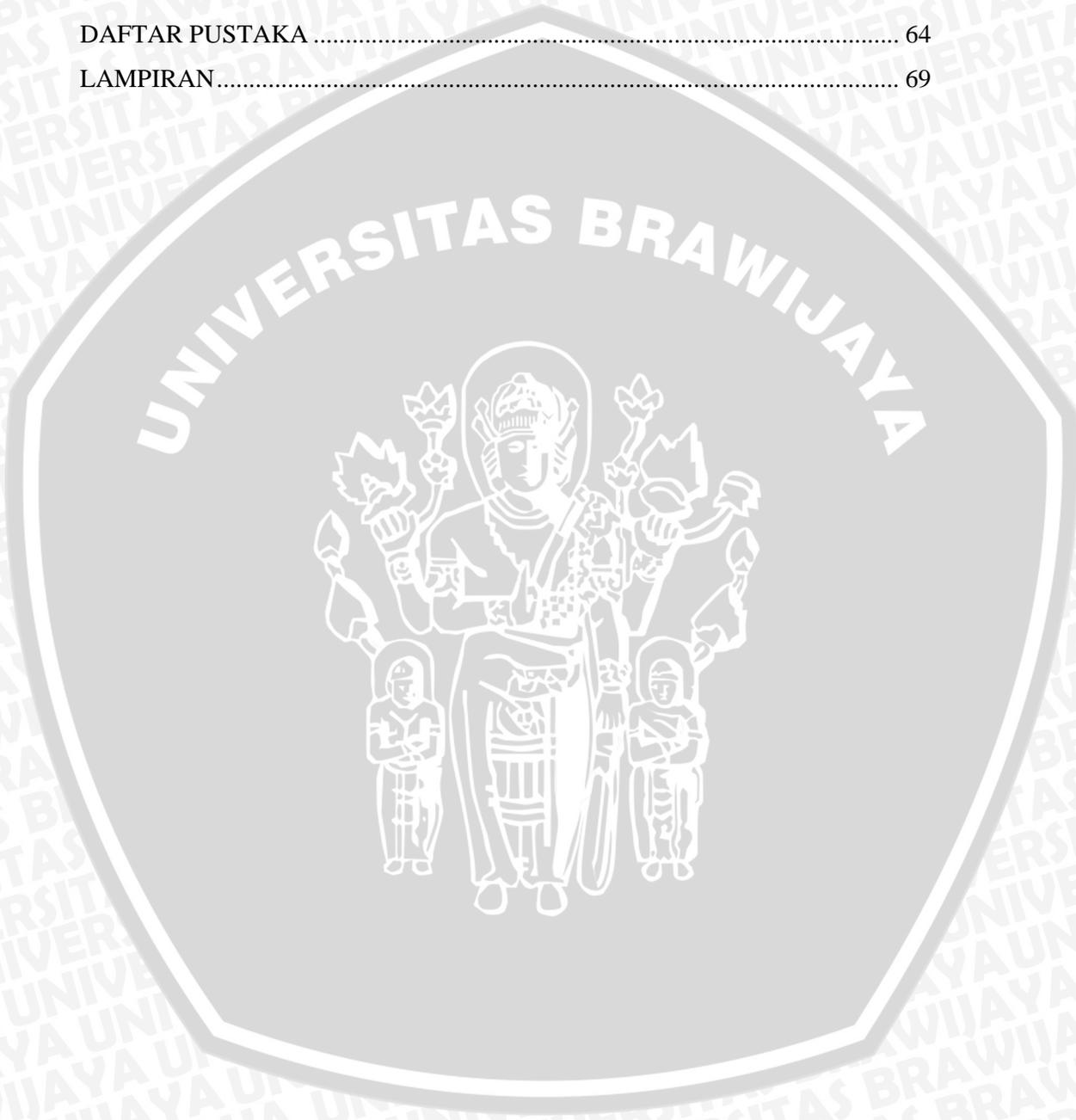
V. KESIMPULAN DAN SARAN..... 63

 1. Kesimpulan 63

 2. Saran..... 63

DAFTAR PUSTAKA 64

LAMPIRAN..... 69



DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Hasil Analisis Limbah Cair Tahu pada Beberapa Pabrik Tahu di Kota Malang Tahun 2006	13
2.	Perlakuan yang Terdapat dalam Penelitian	22
3.	Parameter, Metode dan Waktu Pengamatan	25
4.	Parameter Kualitas Air pada Komposisi Limbah Organik Cair Tahu di Awal Penelitian Secara Simultan	27
5.	Parameter Kualitas Air pada Komposisi Limbah Organik Cair Tahu Tanpa dan dengan Kangkung Selama 28 Hari Penelitian Secara Simultan... ..	29
6.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai BOD Tanpa Kangkung dan dengan kangkung	33
7.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai COD Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung	36
8.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai TSS Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung.....	39
9.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai DO Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung.....	42
10.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai N Total Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung	46
11.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai P Total Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung.....	49
12.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai pH Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung.....	51
13.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai Klorofil <i>a</i>	52
14.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai Klorofil <i>b</i>	53
15.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai Klorofil Total.....	54
16.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Jumlah Daun.....	56
17.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Tinggi Tanaman.....	57
18.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Berat Basah Tanaman.....	58
19.	Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Berat Kering Tanaman.	59

DAFTAR GAMBAR

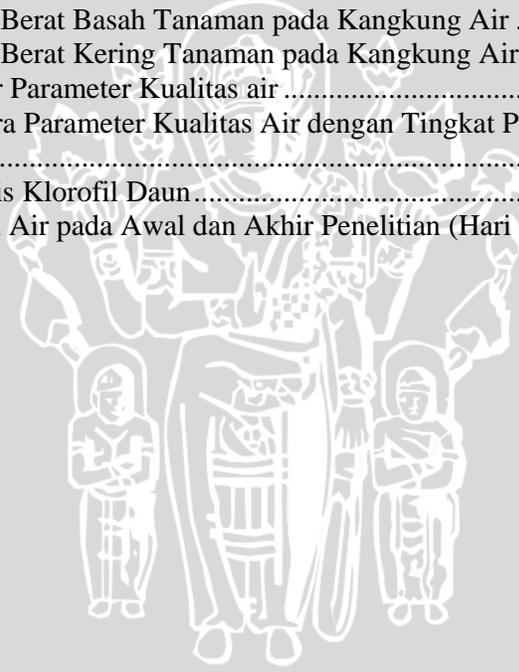
Nomor	Teks	Halaman
1.	Tanaman Kangkung Air	10
2.	Wadah yang Digunakan dalam Penelitian	22
3.	Metode Aplikasi Perlakuan	23
4.	Denah Percobaan dalam Penelitian	24
5.	Ketahanan Hidup Ikan Nila pada Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu Selama Kurun Waktu (Jam) Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung pada Awal Penelitian	60
6.	Ketahanan Hidup Ikan Nila pada Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu Selama Kurun Waktu (Jam) Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung pada Akhir Penelitian (Hari ke-28)	61



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Hasil Analisis Parameter Kualitas Air pada Awal Penelitian	69
2. Hasil Analisis Parameter Kualitas Air pada Akhir Penelitian (dengan Kangkung).....	70
3. Rata-rata Hasil Analisis Parameter Kualitas Air pada Akhir Penelitian (dengan Kangkung).....	71
4. Hasil Analisis Parameter Kualitas Air pada Akhir Penelitian (Tanpa Kangkung).....	72
5. Rata-rata Hasil Analisis Parameter Kualitas Air pada Akhir Penelitian (Tanpa Kangkung)	73
6. Hasil Analisis Parameter Kualitas Air pada Kontrol di Awal dan Akhir Penelitian (Hari ke-28) dengan Kangkung dan Tanpa Kangkung	74
7. Rata-rata Hasil Analisis Parameter Kualitas Air pada Kontrol di Akhir Penelitian (Hari ke-28) dengan Kangkung dan Tanpa kangkung	75
8. Kandungan dan Perubahan Klorofil yang Terjadi di dalam Daun Selama Proses Fitoremediasi	76
9. Hasil Pengamatan Jumlah Daun dan Tinggi Tanaman Kangkung Air Selama Proses Fitoremediasi.....	77
10. Hasil Pengamatan Ketahanan Hidup Ikan Nila Sebelum dan Setelah Fitoremediasi Selama 28 Hari (dengan Kangkung).....	78
11. Hasil Pengamatan Ketahanan Hidup Ikan Nila pada Awal dan Akhir Penelitian (Tanpa kangkung)	79
12. Hasil Perhitungan Berat Basah dan Berat Kering Tanaman Kangkung Air	80
13. Hasil Perhitungan Berat Basah dan Berat Kering Tanaman Kangkung Air pada Kontrol	81
14. Hasil Pengamatan Jumlah Daun, Tinggi Tanaman dan Jumlah Ikan Nila pada Kontrol.....	82
15. Analisis Ragam Nilai BOD Limbah Cair Tahu Setelah Fitoremediasi.....	83
16. Analisis Ragam Nilai COD Limbah Cair Tahu Setelah Fitoremediasi.....	83
17. Analisis Ragam Nilai TSS Limbah Cair Tahu Setelah Fitoremediasi	84
18. Analisis Ragam Nilai DO Limbah Cair Tahu Setelah Fitoremediasi	84
19. Analisis Ragam Nilai N Total Limbah Cair Tahu Setelah Fitoremediasi....	85
20. Analisis Ragam Nilai P Total Limbah Cair Tahu Setelah Fitoremediasi	85
21. Analisis Ragam Nilai pH Limbah Cair Tahu Setelah Fitoremediasi	86
22. Analisis Ragam Nilai Klorofil <i>a</i> Tanaman Kangkung Air Setelah Fitoremediasi.....	86
23. Analisis Ragam Nilai Klorofil <i>b</i> Tanaman Kangkung Air Setelah Fitoremediasi.....	87
24. Analisis Ragam Nilai Klorofil Total Tanaman Kangkung Air Setelah Fitoremediasi.....	87

Nomor	Halaman
25. Analisis Ragam Jumlah Daun Tanaman Kangkung Air pada Awal Penelitian.....	88
26. Analisis Ragam Jumlah Daun Tanaman Kangkung Air pada Hari ke-7	88
27. Analisis Ragam Jumlah Daun Tanaman Kangkung Air pada Hari ke-14 ...	89
28. Analisis Ragam Jumlah Daun Tanaman Kangkung Air pada Hari ke-21 ...	89
29. Analisis Ragam Jumlah Daun Tanaman Kangkung Air pada Akhir Penelitian (Hari ke-28).....	90
30. Analisis Ragam Tinggi Tanaman Kangkung Air pada Awal Penelitian.....	90
31. Analisis Ragam Tinggi Tanaman Kangkung Air pada Hari ke-7.....	91
32. Analisis Ragam Tinggi Tanaman Kangkung Air pada Hari ke-14.....	91
33. Analisis Ragam Tinggi Tanaman Kangkung Air pada Hari ke-21.....	92
34. Analisis Ragam Tinggi Tanaman Kangkung Air pada Akhir Penelitian (Hari ke-28).....	92
35. Analisis Ragam Berat Basah Tanaman pada Kangkung Air	93
36. Analisis Ragam Berat Kering Tanaman pada Kangkung Air	93
37. Hubungan Antar Parameter Kualitas air	94
38. Hubungan Antara Parameter Kualitas Air dengan Tingkat Pertumbuhan Tanaman.....	94
39. Prosedur Analisis Klorofil Daun	95
40. Gambar Kondisi Air pada Awal dan Akhir Penelitian (Hari ke-28)	96



I. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Perkembangan industri dewasa ini sangat pesat, terutama industri rumah tangga yang sangat membantu dalam menunjang kehidupan masyarakat. Namun ditinjau dari segi lingkungan, berkembangnya industri rumah tangga sangat membahayakan kehidupan masyarakat, hal ini disebabkan setiap industri rumah tangga tidak memperhatikan sistem pembuangan limbahnya, tidak terkecuali pembuangan limbah pabrik tahu. Pencemaran akibat limbah cair tahu di tengah-tengah pemukiman berdampak negatif pada keadaan lingkungan di sekitarnya. Bau busuk yang bersumber dari limbah cair tahu yang dibuang melalui saluran, langsung ke badan air penerima (Rubianto, 2000). Bau busuk ini dapat mengakibatkan sakit pernapasan pada manusia. Apabila air limbah merembes ke dalam tanah yang dekat dengan sumur maka air sumur tersebut tidak dapat dimanfaatkan lagi (<http://www.menlh.go.id/usaha-kecil/tahu.htm>).

Di lain pihak beban limbah organik cair dari pabrik tahu selama operasional yang terbuang ke lingkungan perairan akan terkontaminasi dan dapat mengganggu sistem keseimbangan fisik, kimia, dan biologi perairan serta dapat merusak ekosistem perairan. Rendahnya konsentrasi oksigen terlarut akibat tingginya bahan pencemar dari limbah cair tahu, bahkan sampai batas nol, menyebabkan makhluk hidup air seperti ikan dan spesies lainnya tidak bisa hidup dengan baik sehingga akhirnya mati (<http://id.wikipedia.org/wiki/Eutrofikasi>).

Berdasarkan hasil analisis Achmad *et al.* (2002), karakteristik air limbah pabrik tahu mengandung zat organik dan zat tersuspensi yang tinggi serta menunjukkan sifat asam. Hasil analisis tersebut antara lain BOD= 2.644-6.860 mg/L, COD= 6.300-15.620 mg/L, TSS= 5.480-9.680 mg/L dan pH= 4.3-5.6. Menurut keputusan Gubernur Jawa Timur no. 45 tahun 2002 mengenai penilaian kualitas air limbah terhadap baku mutu limbah cair tersebut tidak memenuhi persyaratan. Berdasarkan keputusan Gubernur Jawa Timur, parameter yang memenuhi persyaratan sebagai baku mutu limbah cair industri tahu antara lain BOD = 150 mg/L, COD = 300 mg/L, TSS = 100 mg/L dan pH = 6-9.

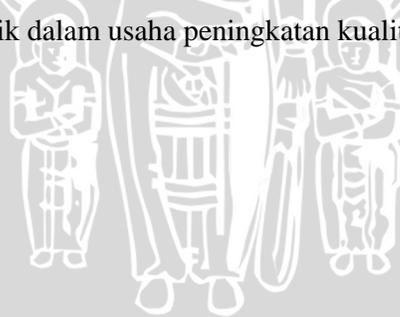
Salah satu cara yang dapat menanggulangi limbah cair pabrik tahu yang terkontaminasi dengan perairan yaitu fitoremediasi. Ide dasar bahwa tanaman dapat digunakan untuk remediasi lingkungan sudah dimulai dari tahun 1970-an. Seorang ahli geobotani di Caledonia menemukan tanaman *Sebertia acuminata* yang dapat mengakumulasi hingga 20% Ni dalam tajuknya (Brown, 1995) dan pada tahun 1980-an, beberapa penelitian mengenai akumulasi logam berat oleh tanaman sudah mengarah pada realisasi penggunaan tanaman untuk membersihkan limbah (Salt, 2000). Menurut Hidayati (2005), fitoremediasi didefinisikan sebagai pencucian limbah yang diremediasi oleh tanaman, termasuk pohon, rumput-rumputan, dan tanaman air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi atau imobilisasi limbah ke bentuk yang tidak berbahaya. Fitoremediasi ini merupakan teknologi remediasi atau perbaikan lingkungan dengan biaya paling rendah dibanding dengan metode konvensional yang berbasis fisika dan kimia dimana memerlukan biaya yang sangat tinggi.

Pada umumnya tanaman air memiliki sifat toleran dan hiperakumulator terhadap limbah yaitu suatu kemampuan tanaman untuk mengakumulasi limbah dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya yang digunakan untuk tujuan proses fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini limbah diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen (Chaney, 1995). Tanaman air yang hidup di perairan dan tidak toleran terhadap limbah dengan konsentrasi tinggi biasanya akan mengalami kerusakan pada klorofil daun dan dapat menghambat proses metabolisme karbohidrat. Tanaman air yang dapat digunakan sebagai remediator dan hiperakumulator terhadap limbah salah satunya adalah kangkung air (*Ipomoea aquatica*).

Kangkung air memiliki kemampuan menyerap limbah cair dalam air. Penyerapan pasif tergantung pada molekul air yang masuk ke dalam membran dan laju transpirasi tanaman secara osmosis, sedangkan penyerapan aktif berlangsung karena kebutuhan tanaman itu sendiri akan limbah cair untuk proses fotosintesis dengan bantuan energi matahari. Limbah cair yang terserap akan didepositkan ke dalam dinding sel, vakuola dan sitoplasma yang berikatan dengan gugus sulfhidril

(-SH) dalam ikatan koordinasi. Di dalam sel, ikatan tersebut akan dipecah oleh enzim sitalase dan oksidase yang terdapat dalam mitokondria. Hasil pemecahan digunakan sebagai sumber energi. Selanjutnya limbah cair tersebut ditranslokasikan ke dalam jaringan tanaman yang lain di bagian apeks, dan didepositkan di dalam daun muda yang masih dalam tahap pertumbuhan (Sudibyaningsih, 2004).

Menurut Hidayati (2005), kangkung air mampu menyerap hingga 44 ppm Pb, 35.70 ppm Cn, dan Cd 1.4 ppm. Karena kangkung air mampu menyerap limbah logam berat, maka dapat kita asumsikan bahwa kangkung air juga dapat menyerap limbah organik yang tingkat pencemarannya lebih kecil dibandingkan dengan limbah logam berat. Namun masih sedikit penelitian yang mengarah pada penggunaan kangkung air dalam meremediasi limbah organik. Sampai saat ini tumbuhan air masih dianggap sebagai gulma air dan belum dimanfaatkan secara optimal, khususnya dalam menangani masalah pencemaran perairan. Padahal dengan sifat yang dimiliki, sebenarnya tanaman tersebut dapat dimanfaatkan dalam pengendalian pencemaran perairan secara ramah lingkungan. Oleh karena itu penelitian kami bertujuan melihat seberapa jauh kangkung air dapat meremediasi limbah organik dalam usaha peningkatan kualitas perairan.



2. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kemampuan kangkung air dalam meremediasi limbah cair pabrik tahu pada berbagai konsentrasi
2. Mengetahui penurunan BOD, COD dan TSS setelah proses fitoremediasi
3. Mengetahui tingkat kelangsungan hidup ikan air tawar pada berbagai konsentrasi limbah cair pabrik tahu

3. Hipotesis Penelitian

1. Kangkung air mampu meremediasi limbah cair pabrik tahu
2. Semakin rendah tingkat konsentrasi limbah cair pabrik tahu semakin rendah pula nilai BOD, COD dan TSSnya
3. Semakin rendah konsentrasi limbah cair pabrik tahu semakin tinggi tingkat kelangsungan hidup ikan air tawar

4. Manfaat Penelitian

Memberikan data dan informasi mengenai kangkung air sebagai fitoremediator limbah cair pabrik tahu yang efektif, aman, murah dan tidak merusak lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Fitoremediasi

Hampir semua air yang digunakan oleh manusia, baik yang digunakan untuk konsumsi maupun industri akan menghasilkan air buangan yang pada gilirannya jika tidak diproses secara benar akan menimbulkan dampak pencemaran (Salmin, 2005).

Limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan industri dan dibuang ke lingkungan perairan akan menimbulkan kontaminasi dan degradasi lingkungan yang mengakibatkan merosotnya mutu lingkungan dan berdampak terhadap rusaknya ekosistem perairan. Dampak kerusakan yang ditimbulkan limbah cair bagi lingkungan perairan bervariasi tergantung dari jenis dan konsentrasi limbah, bersifat toksis atau tidak terhadap kehidupan biota perairan, aman atau tidak terhadap kehidupan manusia. Dalam pengolahan limbah cair bagi industri berskala besar umumnya diterapkan dan dikembangkan metode-metode remediasi berbasis fisika dan kimia yang memerlukan biaya tinggi. Untuk pengolahan limbah cair bagi industri berskala kecil sampai dengan menengah kini telah diterapkan dan dikembangkan metode-metode remediasi berbasis tanaman dimana memerlukan biaya relatif rendah (Priyanto dan Prayitno, 2004). Pengelolaan limbah cair dengan penerapan dan pengembangan metode remediasi berbasis tanaman dikalangan industri sebagai agensia pembersih lingkungan tercemar dalam satu atau dua dasawarsa terakhir ini telah meningkat. Metode remediasi berbasis tanaman ini dikenal sebagai fitoremediasi. Fitoremediasi terdiri dari dua kata *Phyto* asal kata Yunani / greek *phyton* yang berarti tumbuhan / tanaman (*plant*), *remediation* asal kata Latin *remediare* (*to remedy*) yaitu memperbaiki / menyembuhkan / membersihkan sesuatu. Jadi fitoremediasi (*phytoremediation*) merupakan suatu sistem dimana tanaman tertentu yang bekerjasama dengan mikroorganisme dalam media (tanah, koral dan air) dapat mengubah zat kontaminan (pencemar / polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya bahkan menjadi bahan yang berguna secara ekonomi (Anonymous, 2003).

Tanaman yang berpotensi sebagai fitoremediator haruslah toleran terhadap limbah, mampu mengolah limbah, dan pengaruhnya aman bagi lingkungan. Untuk mengetahui tingkat toleransi tanaman terhadap limbah maka perlu diketahui konsentrasi nutrisi dalam limbah, kemampuan dalam mengolah limbah meliputi kapasitas filtrasi dan efisiensi serapan nutrisi (Shutes *et al.*, 1993).

Salah satu tanaman yang direkomendasikan sebagai pengolah limbah cair di lingkungan perairan dengan metode fitoremediasi yaitu tanaman mengapung. Tanaman mengapung adalah tanaman yang sebagian tubuhnya berada di dalam air (akar) dan sebagian lagi terdapat di atas permukaan air (batang dan daun). Tanaman ini hidup di lingkungan yang didominasi oleh air melalui adaptasi struktur dan fisiologinya dengan membentuk jaringan lakuna atau aerenkhim di dalam akar dan batangnya untuk pertukaran gas oksigen dari bagian batang ke akar. Tanaman ini membentuk daun yang bulat penuh untuk menjaga agar tidak sobek, tekstur seperti kulit yang kuat, dan permukaan atas yang hidrofobik untuk menjaga agar tidak basah, serta letak stomatanya dibagian sisi sebelah atas daun (Guntenspergen *et al.*, 1989).

Tanaman mengapung termasuk tanaman lahan basah yang memiliki kemampuan alamiah untuk menghilangkan pencemar organik karena dapat mengasimilasi senyawa organik dan anorganik dari limbah hingga memenuhi kriteria baku mutu limbah. Tanaman ini juga memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi dan tajuk yang besar dapat menyimpan bermacam hara mineral, akarnya menjadi tempat filtrasi dan adsorpsi padatan tersuspensi dan pertumbuhan mikroba yang menghilangkan unsur-unsur hara dari kolom air, memiliki potensi produksi dan daya serap hara yang tinggi, penyebarannya luas, dan toleran terhadap berbagai macam kondisi lingkungan (Surrency, 1993; Priyanto dan Prayitno, 2004).

Jenis-jenis tanaman yang sering digunakan sebagai remediasi lingkungan perairan yang tercemar (fitoremediasi) seperti kangkung air (*Ipomoea aquatica*), enceng gondok (*Eichornia crassipes*), *Commelina nudiflora*, *Hydrilla verticillata*, *Marsilea crenata*, dan *Eclipta prostrata* (Anonymous, 2004).

Tanaman air seperti kangkung air memiliki kemampuan menyerap limbah cair dalam air. Penyerapan pasif tergantung pada molekul air yang masuk ke dalam membran sel dan laju transpirasi tanaman secara osmosis, sedangkan penyerapan aktif berlangsung karena kebutuhan tanaman itu sendiri akan limbah cair untuk proses fotosintesis dengan bantuan energi sinar matahari. Limbah cair yang terserap akan didepositkan ke dalam dinding sel atau gugus -SH dalam vakuola (Sudibyaningsih, 2004). Menurut Salesburry dan Ross (1991), tanaman memiliki susunan asam amino dan gugus sistein penyusun fitokhelatin yang terdapat dalam vakuola sel. Fitokhelatin tersebut akan dikeluarkan oleh tanaman apabila tanaman mengalami stres limbah. Sistein ($C_3H_7NO_2S_1$) sebagai gugus sentrum fitokhelatin mempunyai gugus sulfhidril (-SH) yang berfungsi sebagai pengikat limbah cair yang terserap masuk ke dalam tanaman. Oleh karena itu fitokhelatin dapat berfungsi sebagai peredam stres limbah pada tanaman.

Tanaman tenggelam tidak direkomendasikan pada pengolah limbah karena produksinya rendah, banyak spesies yang tidak toleran terhadap kondisi eutrofik dan memiliki efek yang merugikan bagi alga dalam kolom air, namun tanaman tenggelam mungkin memiliki peran yang penting bila dikombinasikan dengan jenis tanaman lain dalam sistem pengolah limbah (Hammer dan Bastian, 1989).

Metode fitoremediasi ini memiliki beberapa manfaat antara lain banyak digunakan karena memberikan banyak keuntungan, potensial untuk diaplikasikan, aman untuk digunakan dengan dampak relatif kecil, dapat memberikan efek positif yang multiguna terhadap kebijakan pemerintah, komunitas masyarakat dan lingkungan, biaya yang relatif rendah, mampu mereduksi dan menekan volume kontaminan, serta memberikan keuntungan langsung bagi kesehatan masyarakat. Biaya operasional pengolahan limbah dengan menggunakan metode fitoremediasi umumnya lebih murah dari pada pengolahan konvensional lain seperti insinerasi, pencucian tanah berdasarkan metode kimia dan energi yang dibutuhkannya. Sebagai contoh perbandingan pencucian tanah berdasarkan metode kimia membutuhkan biaya sekitar Rp. 250.000/m³, sedangkan menggunakan metode fitoremediasi hanya membutuhkan biaya sekitar Rp. 80.000/m³ (Rismana, 2001).

Proses fitoremediasi secara umum dibedakan berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tanaman. US EPA (1999, 2005) dan ITRC (2001) secara umum membuat klasifikasi proses sebagai berikut:

- Fitostabilisasi (phytostabilization); Akar tanaman melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan dalam zone akar (maksudnya adalah adanya penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tanaman). Proses ini secara tipikal digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik. Spesies tanaman yang biasa digunakan adalah berbagai jenis rumput, bunga matahari, dan kedelai.
- Fitoekstraksi / fitoakumulasi (phytoextraction / phytoaccumulation); Akar tanaman menyerap polutan dan selanjutnya ditranslokasi ke dalam organ tanaman. Proses ini adalah cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik. Spesies tanaman yang digunakan adalah sejenis hiperakumulator misalnya pakis, bunga matahari dan jagung.
- Rizofiltrasi (rhizofiltration); Akar tanaman mengadsorpsi atau presipitasi pada zone akar atau mengabsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar (maksudnya adalah adanya proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar). Spesies tanaman yang fungsional adalah rumput air seperti cattail dan enceng gondok (Mangkoedihardjo, 2002).
- Fitodegradasi / fitotransformasi (phytodegradation / phytotransformation); Organ tanaman menguraikan polutan yang diserap melalui proses metabolisme karbohidrat atau secara enzimatik (maksudnya adalah adanya proses penguraian zat kontaminan menjadi bahan yang tidak berbahaya yang dapat berguna bagi pertumbuhan tanaman). Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tanaman itu sendiri. Spesies tanaman yang umum digunakan adalah berbagai jenis rumput.
- Rizodegradasi (rhizodegradation / enhanced rhizosphere biodegradation phytostimulation / plant-assisted bioremediation / degradation); Polutan diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat/sinergis oleh ragi, fungi,

dan zat-zat keluaran akar tanaman (eksudat) yaitu gula, alkohol, asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini adalah tepat untuk dekontaminasi zat organik. Spesies tanaman yang umum digunakan adalah berbagai jenis rumput.

- Fitovolatilisasi (Phytovolatilization); Penyerapan polutan oleh tanaman dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer. Kontaminan mengalami transformasi sebelum lepas ke atmosfer. Kontaminan zat-zat organik adalah tepat menggunakan proses ini. Spesies tanaman yang biasanya digunakan adalah tanaman kapas dan pakis.

2. Limbah Cair Pabrik Tahu

Pada dasarnya tahu adalah endapan protein dari sari kedelai yang menggunakan bahan penggumpal. Pada waktu proses pengendapan, tidak semua protein mengendap, dengan demikian sisa protein yang tidak tergumpal dan zat-zat lain yang tidak larut dalam air akan terdapat dalam limbah cair tahu yang dihasilkan. Setiap kuintal kedelai akan menghasilkan limbah 1,5 - 2 m³ air limbah. Tidak hanya limbah cair, dalam pembuatannya juga menghasilkan limbah padat. Limbah padat belum dirasakan dampaknya terhadap lingkungan karena dapat dimanfaatkan untuk makanan ternak, tetapi limbah cair akan mengakibatkan bau busuk dan bila dibuang langsung ke sungai akan menyebabkan tercemarnya sungai tersebut.

Limbah cair yang berasal dari agro industri atau pabrik pengolahan hasil pertanian seperti pabrik tahu umumnya mengandung konsentrasi bahan organik yang sangat tinggi dan sedikit mengandung bahan anorganik. Limbah cair tahu mengandung nutrisi berupa protein, karbohidrat, dan lipida, yang tingkat pencemarannya sangat tinggi yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD). Beban pencemar organik setiap hari pada tingkat yang begitu tinggi menyebabkan kadar oksigen terlarut dalam badan air menurun drastis, atau bahkan mencapai nol. Bau busuk timbul karena terbentuknya amoniak dan sulfida (Rubianto, 2000). Limbah cair yang dihasilkan mengandung padatan tersuspensi maupun terlarut, akan mengalami perubahan

fisika, kimia, dan biologi yang akan menghasilkan zat beracun. Di sisi lain, limbah cair tersebut juga mengandung nitrogen, fosfat, dan natrium. Dengan unsur fosfat sebagai nutrisi dan nitrogen yang tersedia bagi tanaman dimana kandungannya di dalam air seimbang, maka akan meningkatkan pertumbuhan tanaman.

3. Fisiologi Tanaman Kangkung Air

Kangkung air merupakan tanaman air yang hidup mengapung bebas bila airnya cukup dalam, memiliki akar serabut dengan sistem perakaran yang pendek, tanaman ini hidupnya menetap menjalar atau membelit, mengandung banyak vitamin A, C serta mineral terutama zat besi, daunnya panjang dengan ujung yang agak tumpul berwarna hijau kelam dan bunganya berwarna putih keunguan, tumbuhan sayuran, umumnya hidup di sungai kecil, danau, aliran air, kolam, ataupun sawah, pertumbuhannya sangat cepat, toleransinya tinggi terhadap perairan tercemar dan mampu menyerap zat-zat beracun, dan selama hidupnya selalu dipengaruhi oleh kualitas air tempat hidupnya.



Gambar 1. Tanaman Kangkung Air

Kangkung air berbeda dengan kangkung darat. Untuk warna bunga, kangkung air berbunga putih kemerah-merahan, sedangkan kangkung darat bunga putih bersih. Dilihat dari bentuk daun dan batang, kangkung air berbatang dan berdaun lebih besar dari pada kangkung darat. Warna batang juga berbeda. Kangkung air berbatang hijau, sedangkan kangkung darat putih kehijau-hijauan (Gambar 1). Dalam kebiasaan berbiji, kangkung darat lebih banyak berbiji dari

pada kangkung air. Itu sebabnya kangkung darat diperbanyak lewat biji, sedangkan kangkung air diperbanyak dengan cara stek pucuk batang (<http://warintek.progressio.or.id/pertanian/kangkung.htm>).

4. Penyerapan Limbah oleh Kangkung Air

Tanaman air seperti kangkung air memiliki kemampuan menyerap ion logam atau limbah organik dalam air. Penyerapan pasif tergantung pada molekul air yang masuk ke dalam membran dan laju transpirasi tanaman secara osmosis, sedangkan penyerapan aktif berlangsung karena kebutuhan tanaman itu sendiri akan ion logam atau limbah organik untuk proses fotosintesis dengan bantuan energi matahari. Logam atau limbah organik yang terserap akan didepositkan ke dalam dinding sel atau gugus -SH dalam vakuola (Sudibyaningsih, 2004). Tanaman memiliki susunan asam amino dan gugus sistein penyusun fitokhelatin yang terdapat dalam vakuola sel. Fitokhelatin tersebut akan dikeluarkan oleh tanaman apabila tanaman mengalami stres metal atau organik. Tanaman air yang hidup di perairan tercemar logam berat atau limbah organik dengan konsentrasi tinggi akan mengalami kerusakan pada klorofil daun dan menghambat metabolisme karbohidrat (Salesburry dan Ross, 1991).

Pada ekosistem perairan dimana terdapat tanaman air seperti kangkung air memiliki kemampuan alamiah untuk mengasimilasi senyawa organik dan anorganik dari limbah. Kemampuan ini terutama disebabkan karena peran tanaman tersebut sebagai pengolah limbah hingga memenuhi kriteria baku mutu limbah. Tanaman air tersebut sangat sesuai untuk fitoremediasi karena memiliki potensi produksi dan daya serap hara yang tinggi langsung dari kolom air, penyebarannya luas, toleran terhadap berbagai macam kondisi lingkungan, akarnya menjadi tempat filtrasi, adsorpsi padatan tersuspensi dan pertumbuhan mikroba yang menghilangkan unsur-unsur hara dari kolom air (Surrency, 1993; Priyanto dan Prayitno, 2004).

5. Kondisi Lingkungan Perairan

Kondisi lingkungan perairan umumnya bersifat dinamis karena selalu menerima berbagai macam beban limbah hasil kegiatan manusia yang berupa limbah rumah tangga, pertanian, perikanan, pemukiman, industri dan transportasi. Apabila kondisi lingkungan perairan tersebut tidak dimonitoring dan dilakukan evaluasi melalui analisis dampak lingkungan serta diproses secara benar akan menimbulkan dampak pencemaran. Monitoring dan evaluasi pencemaran merupakan dasar dari pengawasan pencemaran. Monitoring dan evaluasi berarti pengukuran konsentrasi pencemaran secara berkala dan membandingkannya dengan standar baku yang ditetapkan. Standar yang umum digunakan adalah standar emisi yang menentukan jumlah maksimal limbah cair yang boleh dibuang ke lingkungan.

Besarnya beban pencemaran yang ditampung oleh suatu perairan, dapat diperhitungkan berdasarkan jumlah, jenis, dan konsentrasi limbah yang berasal dari berbagai sumber aktifitas air buangan baik dari proses-proses industri maupun buangan domestik yang berasal dari penduduk (Salmin, 2005).

Untuk indikasi terjadinya pencemaran air yaitu:

- Perubahan pH (tingkat keasaman / konsentrasi ion hidrogen) air normal yang memenuhi persyaratan untuk suatu kehidupan memiliki pH netral dengan kisaran nilai 6.5 – 7.5. Air limbah industri yang belum terolah dan memiliki pH diluar nilai pH netral, akan mengubah pH air sungai dan dapat mengganggu kehidupan organisme didalamnya. Hal ini akan semakin parah jika daya dukung lingkungan rendah serta debit air sungai rendah. Limbah dengan pH asam / rendah bersifat korosif terhadap logam.
- Perubahan warna, bau dan rasa. Air yang bersih / normal tidak akan berwarna, sehingga tampak bening / jernih. Bila kondisi air warnanya berubah maka hal tersebut merupakan salah satu indikasi bahwa air telah tercemar. Timbulnya bau pada air lingkungan merupakan indikasi kuat bahwa air telah tercemar. Air yang bau dapat berasal dari limbah industri atau dari hasil degradasi oleh mikroba. Mikroba yang hidup dalam air akan mengubah limbah organik menjadi bahan yang mudah menguap dan berbau sehingga mengubah rasa.

- Timbulnya endapan, koloid dan bahan terlarut endapan, koloid dan bahan terlarut berasal dari adanya limbah industri yang berbentuk padat. Limbah industri yang berbentuk padat, bila tidak larut secara sempurna akan mengendap di dasar sungai, dan yang larut sebagian akan menjadi koloid dan menghalangi bahan-bahan organik yang sulit diukur melalui uji BOD karena sulit didegradasi melalui reaksi biokimia, namun dapat diukur melalui uji COD (<http://id.wikipedia.org/wiki/Limbah>).

Dalam hal ini parameter kualitas air sangat penting peranannya untuk menentukan keberadaan pencemar yang mengakibatkan terganggunya sistem keseimbangan fisik, kimia, dan biologi serta ekosistem dalam suatu perairan. Merosotnya kualitas air dalam lingkungan perairan akan berpengaruh terhadap fungsi air untuk kepentingan makhluk hidup terutama manusia (Trisna *et al.*, 2001).

Gas terurai dalam aliran air yang perlu mendapat perhatian adalah oksigen (O_2), karbon dioksida (CO_2), dan nitrogen (N). Dari perspektif biologi, kandungan gas oksigen di dalam air merupakan salah satu unsur yang terpenting untuk menentukan karakteristik kualitas air dalam lingkungan kehidupan akuatis. Dengan kata lain, besar atau kecilnya muatan oksigen di dalam air dapat dijadikan indikator ada atau tidaknya pencemaran di suatu perairan. Maka, pengukuran besarnya *biological oxygen demand* (BOD) dan *chemical oxygen demand* (COD) perlu dilakukan untuk menentukan status muatan oksigen di dalam air. Juga dilakukan pengukuran terhadap *total suspended solid* (TSS) (Asdak, 2004).

Tabel 1. Hasil Analisis Limbah Cair Tahu pada Beberapa Pabrik Tahu di Kota Malang Tahun 2006

Parameter	Pabrik tahu A (Di daerah Sukun)	Pabrik tahu B (Di daerah Soekarno- Hatta)	Baku mutu limbah cair pabrik tahu sesuai SK Gubernur Jawa Timur no. 45 tahun 2002
BOD (mg/L)	1013	1150	150
COD (mg/L)	2460	2480	300
TSS (mg/L)	333	1500	100

Sumber: Dinas Pengawas Bangunan dan Pengendalian Lingkungan

5.1. Biological Oxygen Demand (BOD)

Kebutuhan oksigen biologis (BOD) didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik, pada kondisi aerobik. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi (Pescod, 1973). BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam lingkungan perairan untuk memecah (mendegradasi) limbah bahan organik yang ada di dalam lingkungan perairan tersebut (Wardhana, 2004).

BOD adalah angka indeks oksigen yang diperlukan oleh bahan pencemar yang dapat teruraikan (*biodegradable pollutant*) dalam suatu sistem perairan selama berlangsungnya proses dekomposisi aerobik. Sedangkan dekomposisi aerobik adalah proses perubahan kimia dari terurainya mikroba-mikroba yang menyusun molekul organik menjadi bentuk lain yang lebih sederhana dan bersifat permanen seperti CO_2 dan PO_4 . Dengan demikian, proses dan bentuk hubungan antara limbah yang dapat teruraikan di dalam air dan jumlah oksigen yang diperlukan untuk berlangsungnya proses dekomposisi menjadi penting untuk diketahui. Makin besar angka indeks BOD suatu perairan, makin besar tingkat pencemaran yang terjadi. Angka indeks BOD, umumnya mengacu pada angka standar inkubasi 5 hari (BOD_5). Secara umum, angka BOD yang tinggi menunjukkan konsentrasi bahan organik di dalam air yang juga tinggi (Asdak, 2004).

Banyaknya oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan limbah organik disebut Biological Oxygen Demand (BOD) dan konsentrasi BOD berbanding terbalik dengan konsentrasi DO artinya pada perairan yang kondisinya normal, peningkatan konsentrasi oksigen terlarut (DO) terjadi seiring dengan penurunan konsentrasi kebutuhan oksigen biologi (BOD), sebaliknya pada perairan yang tercemar peningkatan konsentrasi kebutuhan oksigen biologi (BOD) terjadi seiring dengan penurunan konsentrasi oksigen terlarut (DO).

Banyaknya limbah organik pada suatu perairan menyebabkan jumlah mikroorganisme pengurai juga meningkat. Dengan penyerapan oksigen oleh

mikroorganisme pengurai yang digunakan pada saat menguraikan limbah organik menyebabkan turunnya kandungan oksigen di lingkungan perairan. Oleh karena itu penggunaan kangkung air diharapkan dapat menyerap zat-zat organik tersebut dan mengembalikan kondisi lingkungan perairan menjadi normal.

Uji BOD sangat penting peranannya untuk menelusuri aliran pencemaran dari tingkat hulu ke muara sungai dan merupakan suatu prosedur *bioassay* untuk mengukur banyaknya oksigen yang digunakan oleh organisme selama organisme tersebut menguraikan bahan organik yang ada dalam suatu perairan seperti pada kondisi yang ada di alam.

5.2. Chemical Oxygen Demand (COD)

COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Wardhana, 2004). Kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen (ppm O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ yang digunakan sebagai sumber oksigen (oxydizing agent) (Yunasfi, 2002). COD adalah jumlah ekuivalen oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi secara kimia zat-zat organik yang terdapat dalam 1 liter air limbah. COD lebih menunjukkan pada jumlah bahan kimia secara total yang masuk ke badan air. Semakin tinggi nilai COD maka kualitas air tersebut semakin rendah / menurun.

5.3. Dissolved Oxygen (DO)

Jumlah oksigen (ppm O_2) yang terlarut dalam air dan merupakan kebutuhan mutlak bagi mikroorganisme khususnya bakteri dalam menguraikan zat-zat organik (Yunasfi, 2002).

Dalam perairan, oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* = DO) dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut (Salmin, 2002).

Semua makhluk hidup (mikro dan makroorganisme) baik tanaman maupun hewan dalam mempertahankan hidupnya bergantung pada oksigen yang terlarut. Kepekatan oksigen terlarut tergantung pada suhu, tanaman yang berfotosintesis, tingkat penetrasi cahaya yang tergantung pada kedalaman dan kekeruhan air, tingkat kekerasan aliran air, jumlah bahan organik yang diuraikan dalam air seperti sampah, ganggang mati, atau limbah industri.

Keperluan organisme terhadap oksigen relatif bervariasi tergantung pada jenis, stadium dan aktifitasnya. Kebutuhan oksigen untuk ikan dalam keadaan diam relatif lebih sedikit apabila dibandingkan dengan ikan pada saat bergerak atau memijah. Jenis-jenis ikan tertentu yang dapat menggunakan oksigen dari udara bebas melalui difusi ke dalam air, memiliki daya tahan yang lebih tinggi apabila berada di perairan yang kekurangan oksigen terlarut (Wardoyo, 1978). Dalam perairan dengan kondisi normal, kandungan oksigen terlarut (DO) minimum adalah 2 mg/L sudah cukup mendukung kehidupan organisme dan kehidupan ideal organisme membutuhkan oksigen terlarut minimum sebanyak 5 mg/L (Sastrawijaya, 2000).

Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Selain itu, oksigen juga menentukan kebutuhan biologis yang dilakukan oleh organisme aerobik atau anaerobik. Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrien yang pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan. Dalam kondisi anaerobik, oksigen yang dihasilkan akan mereduksi senyawa-senyawa kimia menjadi lebih sederhana dalam bentuk nutrien dan gas. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan rumah tangga. Sebagaimana diketahui bahwa oksigen berperan sebagai pengoksidasi dan pereduksi bahan kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. Disamping itu, oksigen juga sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk pernapasan. Organisme tertentu,

seperti mikroorganisme, sangat berperan dalam menguraikan senyawa kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. Karena peranannya yang penting ini, air buangan industri dan limbah sebelum dibuang ke lingkungan umum terlebih dahulu diperkaya kadar oksigennya (Salmin, 2005).

Dengan pengolahan limbah organik cair menggunakan kangkung air sebagai fitoremediator akan meningkatkan kandungan oksigen di lingkungan perairan. Hal ini disebabkan karena disamping tanaman kangkung mampu mengasimilasi zat-zat tercemar seperti limbah organik, juga sumber oksigen yang dihasilkan melalui proses fotosintesis dari tanaman kangkung dan fitoplankton di lingkungan perairan diharapkan jumlahnya dapat berimbang atau lebih banyak daripada oksigen yang dikonsumsi oleh bakteri pengurai limbah organik melalui proses dekomposisi, hasil akhir yaitu bahan anorganik yang dihasilkan dari oksidasi limbah organik, dapat menjadi nutrisi untuk pertumbuhan tanaman kangkung yang selanjutnya bermanfaat sebagai fitoremediator lingkungan perairan yang tercemar. Sehingga diharapkan lingkungan perairan yang dulunya tercemar dapat pulih kembali melalui proses pengolahan dengan menggunakan tanaman kangkung. Namun jumlah tanaman kangkung air yang sangat melimpah di lingkungan perairan akibat dari oksigen yang dikonsumsi oleh kangkung air pada malam hari untuk proses respirasi secara berlebihan, dapat menurunkan kandungan oksigen.

5.4. Padatan Tersuspensi (Suspended Solids)

Padatan tersuspensi (SS) dalam air atau padatan tidak terlarut dalam air adalah senyawa kimia yang terdapat dalam air baik dalam keadaan melayang, terapung maupun mengendap. Senyawa ini dijumpai dalam bentuk organik maupun anorganik. Padatan tidak terlarut ini menyebabkan air berwarna keruh. Total padatan tersuspensi (TSS) menunjukkan jumlah padatan tersuspensi dalam 1 liter air limbah. Semakin tinggi nilai TSS maka kualitas air tersebut semakin rendah / menurun.

Padatan yang tersuspensi memiliki dampak buruk terhadap kualitas air karena mengurangi penetrasi cahaya matahari ke dalam badan air, kekeruhan air

meningkat yang menyebabkan gangguan pertumbuhan bagi organisme produser (Monoarfa, 2002).

Tingginya total padatan dan padatan tersuspensi akan menyebabkan terbentuknya warna dan kekeruhan dalam perairan semakin lama membentuk lumpur, yang merusak kehidupan jasad renik dalam air dan merusak tempat ikan bertelur. Kekeruhan ini disebabkan adanya partikel-partikel kecil dan koloid yang berukuran 10 nm - 10 mm, berupa bahan organik dan anorganik.

6. Efek Limbah Cair Pabrik Tahu terhadap Klorofil Kangkung Air

Tanaman air yang hidup di perairan tercemar limbah cair dengan konsentrasi tinggi akan mengalami penurunan klorofil daun dan menghambat proses metabolisme karbohidrat dalam fotosintesis. Tanaman air yang mengalami bercak-bercak klorosis pada daun dapat digunakan sebagai salah satu indikator pencemaran di lingkungan perairan. Karakteristik klorofil kangkung air yaitu labilitasnya yang sangat tinggi terhadap cahaya, oksigen, suhu, dan degradasi enzimatis. Sifat tersebut menyebabkan klorofil mudah mengalami degradasi menjadi senyawa turunannya. Feofitin adalah salah satu produk degradasi klorofil. Terbentuknya feofitin ini terjadi akibat aktifitas asam dan enzim Mg dekelatase yang terdapat dalam daun kangkung air. Rusaknya klorofil kangkung air tersebut ditandai dengan perubahan warna daun yang semula hijau menjadi kuning kecoklatan. Menurut Rahayu *et al.* (2005), kandungan klorofil pada daun tua kangkung air sebesar 47.9 spad/6 mm² sedangkan daun yang muda kandungan klorofilnya sebesar 35.44 spad/6 mm². Sehingga konsentrasi limbah cair yang tinggi dapat menurunkan kandungan klorofil khususnya pada daun yang masih muda. Klorofil di dalam fotosintesis adalah pigmen (butir hijau daun) yang terdapat dalam kloroplas berperan dalam penyerapan energi sinar matahari. Struktur molekul klorofil terdiri atas cincin porfirin dengan atom magnesium ditengahnya dan rantai fitol, mioglobin serta enzim-enzim sitokrom (Kimball, 1992).

7. Efek Fitoremediasi terhadap Kelangsungan Hidup Ikan Nila

Ikan nila merupakan jenis ikan konsumsi air tawar dengan bentuk tubuh memanjang dan pipih kesamping dan warna putih kehitaman.

Ikan nila cocok dipelihara di dataran rendah sampai agak tinggi (500 m dpl). Kualitas air untuk pemeliharaan ikan nila harus bersih, tidak terlalu keruh dan tidak tercemar bahan-bahan kimia beracun, dan minyak / limbah pabrik. Untuk di kolam dan tambak, angka kecerahan yang baik antara 20-35 cm. Debit air untuk kolam air tenang 8-15 liter / detik / ha. Kondisi perairan diusahakan tenang dan bersih, karena ikan nila tidak dapat berkembang biak dengan baik di air arus deras. Nilai keasaman air (pH) tempat hidup ikan nila berkisar antara 6-8,5. Sedangkan keasaman air (pH) yang optimal adalah antara 7-8. Suhu air yang optimal berkisar antara 25-30⁰ C. Kadar garam air yang disukai antara 0-35 permil (<http://www.ict4pr.org/files/warintek/TeknologiTepatGuna/budidayerikanan/pemd/nila.pdf>).

Mutu air yang diperlukan untuk budidaya ikan nila juga haruslah memenuhi beberapa persyaratan berikut: oksigen terlarut sekitar 4-6 ppm, karbondioksida terlarut yang terdapat di air kurang dari 25 ppm (<http://www.senior.co.id/kesehatan/news/senior/gizi/0307/04/gizi.htm>).

Dalam perairan dengan kondisi normal, kandungan oksigen terlarut (DO) minimum adalah 2 mg/L sudah cukup mendukung kehidupan organisme. Pada kondisi perairan tercemar dengan menurunnya konsentrasi oksigen terlarut sampai di bawah 2 mg/L merupakan faktor pembatas kehidupan organisme akuatik. Oksigen terlarut sangat dibutuhkan oleh semua organisme yang hidup di perairan untuk proses pernapasan dan proses metabolisme. Dalam perairan oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan kimia menjadi senyawa yang lebih sederhana sebagai nutrisi yang sangat dibutuhkan oleh organisme perairan (Sastrawijaya, 2000). Pencemaran perairan dalam bentuk penyuburan perairan (*eutrophication*) memberikan andil besar terhadap kematian massal ikan. Proses penyuburan perairan mengakibatkan terjadinya penguraian bahan organik menjadi bahan anorganik, misalnya NO_x dan NH₃, yang bersifat mengurangi oksigen dalam air. Proses ini, bila berlangsung dalam skala cukup besar, akan menurunkan

jatah oksigen yang sangat diperlukan oleh ikan (Asdak, 2004). Dalam penelitian mengenai perbaikan kualitas air yang tercemar oleh limbah cair pabrik tahu melalui tanaman kangkung air dibuktikan dengan ketahanan terhadap kelangsungan hidup ikan nila.



III. METODE PENELITIAN

1. Lokasi dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Widyagama Malang yang dimulai dari bulan Maret sampai dengan bulan Mei 2007.

2. Bahan Penelitian

1. Kangkung air (*Ipomoea aquatica*)
2. Limbah cair pabrik tahu
3. Ikan nila yang memiliki berat rata-rata 100 g

3. Tahap Persiapan Penelitian

Penelitian ini merupakan skala rumah kaca dengan tahap persiapan yaitu pengambilan tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dari sungai di sekitar Desa Jambangan Kabupaten Malang, kemudian dipelihara selama 30 hari di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Widyagama Malang untuk membebaskan tanaman dari limbah lain saat di alam. Wadah yang digunakan berupa bak plastik yang berkapasitas 35 L. Limbah yang digunakan yaitu limbah cair dari pabrik tahu di daerah Sawojajar. Untuk melihat seberapa jauh tingkat pencemaran air, digunakan ikan nila sebagai bioindikatornya. Analisis kualitas air limbah dan kadar klorofil tanaman kangkung air dilakukan di Laboratorium Kualitas Air PERUM Jasa Tirta I dan Laboratorium Biologi Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

4. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok faktorial (RAK Faktorial) dengan 2 faktor yaitu faktor pemberian kangkung air yang terdiri atas dua taraf yaitu pemberian kangkung air dan juga tanpa pemberian kangkung air, dan faktor konsentrasi limbah cair pabrik tahu yang terdiri dari enam taraf yaitu konsentrasi 100 % limbah, 80 % limbah, 60 % limbah, 40 %

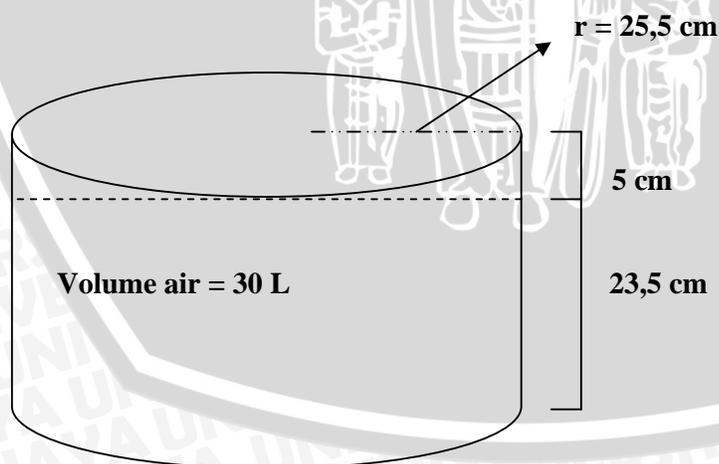
limbah, 20 % limbah dan 0 % limbah cair tahu, yang masing-masing dilakukan pengenceran dengan air tawar. Mengenai perlakuannya disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Perlakuan yang Terdapat dalam Penelitian

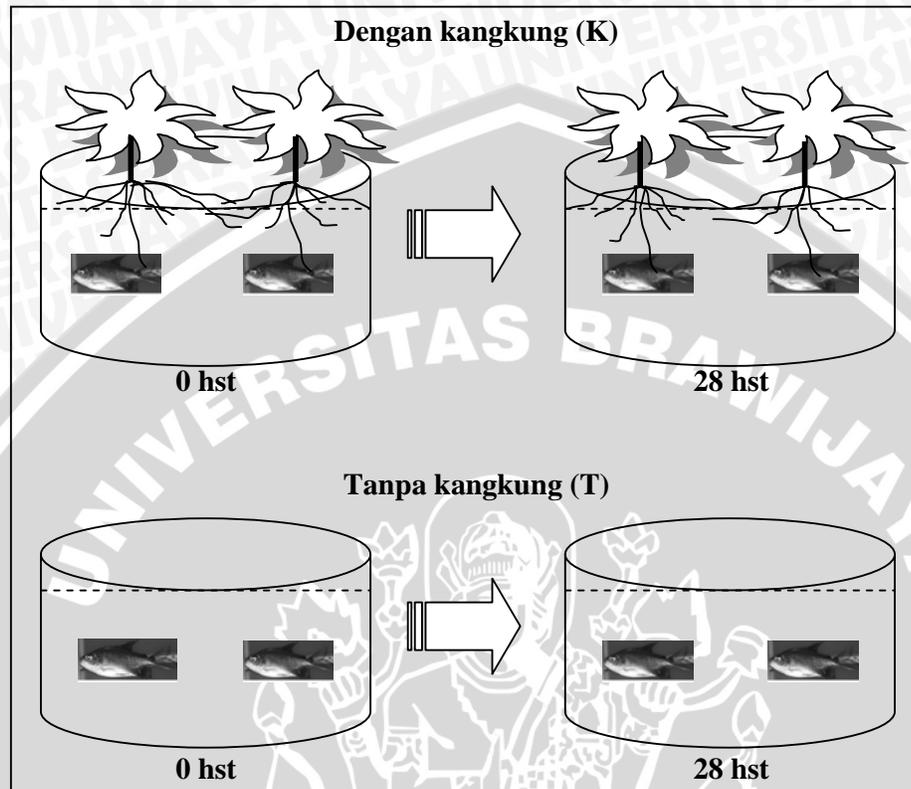
Perlakuan	Dengan Kangkung	Tanpa Kangkung
100% air tawar	K0	T0
100% limbah cair pabrik tahu	K100	T100
80% limbah cair pabrik tahu + 20% air tawar	K80	T80
60% limbah cair pabrik tahu + 40% air tawar	K60	T60
40% limbah cair pabrik tahu + 60% air tawar	K40	T40
20% limbah cair pabrik tahu + 80% air tawar	K20	T20

Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

Wadah yang digunakan berupa bak plastik yang berkapasitas 35 L, kemudian diisi air tawar dan atau limbah cair pabrik tahu sesuai perlakuan dengan volume hanya 30 L, hal ini untuk mencegah keluarnya ikan dari wadah tersebut. Di dalam 1 wadah diberikan 150 g kangkung air (Gambar 2). Setelah itu dilakukan pemberian ikan nila pada wadah tersebut bersamaan dengan penanaman kangkung air. Pemberian ikan nila juga dilakukan setelah panen (Gambar 3).

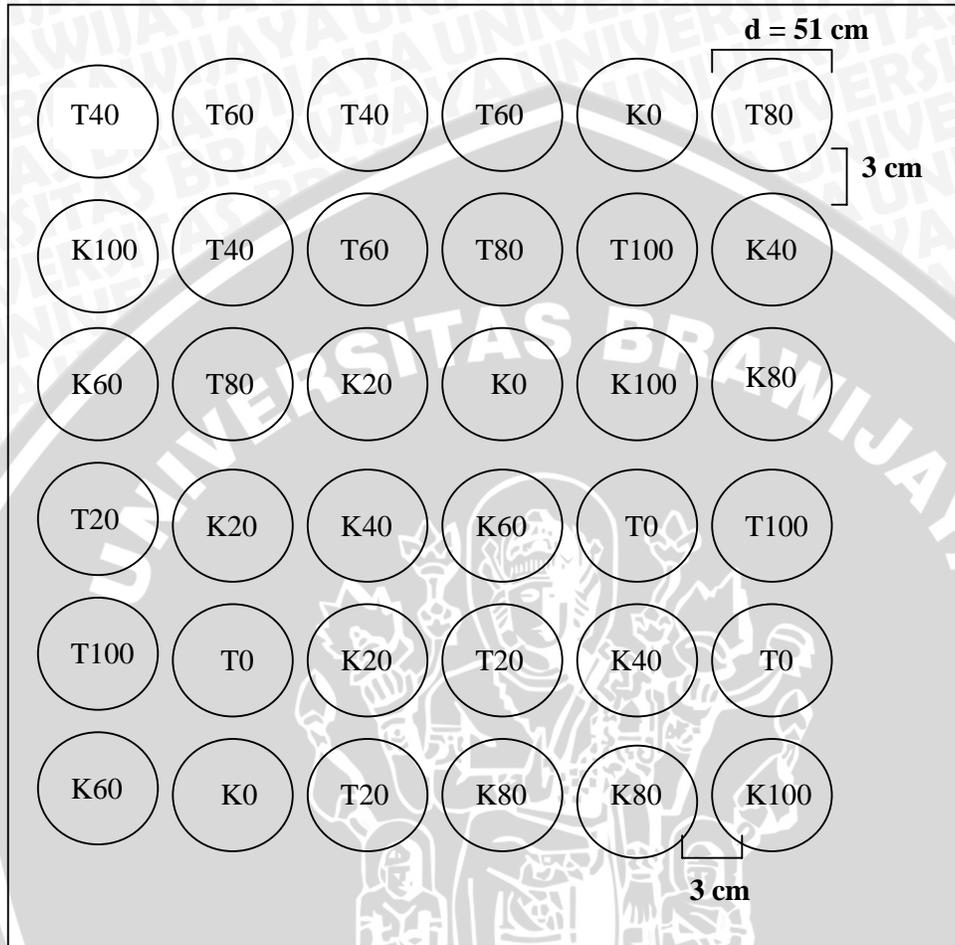


Gambar 2. Wadah yang Digunakan dalam Penelitian



Gambar 3. Metode Aplikasi Perlakuan

Pada percobaan tersebut dilakukan pengacakan untuk mendapatkan kesamaan antar perlakuan terhadap lingkungan di sekitarnya. Jarak antar wadah 3 cm, hal ini dilakukan untuk mencegah kemungkinan berpindahnya air ke wadah lain pada saat melakukan pengamatan, pengambilan sampel limbah untuk analisis dan adanya aktivitas ikan air tawar (Gambar 4).



Gambar 4. Denah Percobaan dalam Penelitian

5. Metode Pengamatan dan Analisis Data

5.1. Metode Pengamatan

Untuk mengetahui tingkat kualitas air pada setiap perlakuan dalam penelitian, perlu melihat parameter yang ada agar bisa menentukan tinggi rendahnya kualitas air tersebut. Beberapa parameter yang diamati disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Parameter, Metode dan Waktu Pengamatan

Parameter pengamatan	Metode analisis	Waktu pengamatan
1. Limbah cair tahu:		
- BOD	APHA.Ed.20.5210B,1998	Sebelum tanam & saat panen
- COD	Q1/LKA/19 (Spektrofotometri)	Sebelum tanam & saat panen
- TSS	APHA.Ed20.2540D,1998	Sebelum tanam & saat panen
- DO	Q1/LKA/02 (Elektrometri)	Sebelum tanam & saat panen
- Total Kjedahl Nitrogen (N-Org)	APHA.Ed.20.4500,N-Org B,1998	Sebelum tanam & saat panen
- Phospat Total (PO ₄ -P)	SNI 06 2483-1991	Sebelum tanam & saat panen
- pH	Q1/LKA/08 (Elektrometri)	Sebelum tanam & saat panen
2. Kangkung Air:		
- Tinggi tanaman	Pengukuran	0,7,14,21,28 HST
- Jumlah daun	Perhitungan	0,7,14,21,28 HST
- Berat basah	Penimbangan	Sebelum tanam & saat panen
- Berat kering	Penimbangan	28 HST
- Klorofil daun	Klorofilmeter Minolta SPAD-502	Sebelum tanam & saat panen
3. Ikan nila:		
- Kelangsungan hidup	Perhitungan	Setiap 24 jam (HST dan HSP)

Keterangan: HST= Hari Setelah Tanam
HSP= Hari Setelah Panen

5.2. Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil percobaan kemudian dilakukan pengujian dengan menggunakan analisis ragam atau uji F dengan taraf sangat nyata ($P < 0,01$) dan taraf nyata ($P < 0,05$). Untuk mengetahui perbedaan di antara perlakuan, dilakukan dengan uji perbandingan Duncan pada taraf nyata ($P < 0,05$). Untuk mengetahui hubungan antar variabel dari perlakuan tersebut digunakan analisis uji korelasi dengan taraf 5%.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Parameter Kualitas Air pada Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Pabrik Tahu Secara Simultan

Pada awal penelitian yang kondisi perairannya alami (kontrol), konsentrasi oksigen terlarut (DO) lebih tinggi dan berbanding terbalik dengan konsentrasi oksigen konsumsi organik (BOD) dan oksigen untuk oksidasi zat-zat organik (COD) (Tabel 4). Pada pH yang netral, N dan P total dikonversi dalam bentuk ion hara yang langsung diserap oleh plankton dan kangkung untuk pembelahan sel dan pertumbuhan. Tingginya konsentrasi padatan tersuspensi disebabkan adanya zat-zat organik dengan konsentrasi sangat kecil yang berasal dari air sumber dan yang menempel pada tanaman kangkung saat dimasukkan ke dalam air.

Tabel 4. Parameter Kualitas Air pada Komposisi Limbah Organik Cair Tahu di Awal Penelitian Secara Simultan

Perlakuan	Komposisi Limbah Pada Awal Penelitian (0 hari)						
	BOD	COD	TSS	DO	Ntot	Ptot	pH
T&K0	2,11	4,73	17,12	7,40	0,35	0,29	7,16
T&K100	4302,10	7201,30	655,40	0,44	11,50	8,44	4,01
T&K80	4077,10	7150,20	517,80	0,57	11,16	7,74	4,05
T&K60	2952,10	4521,60	509,60	0,71	8,02	5,33	4,10
T&K40	2382,10	3959,00	420,60	1,14	6,85	2,82	4,32
T&K20	1042,10	1415,90	150,80	1,53	2,30	1,46	5,27

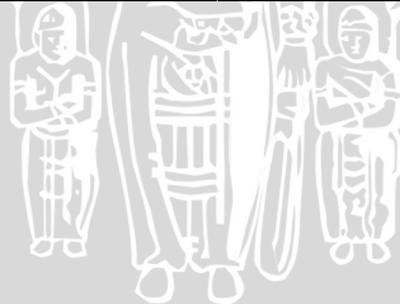
Komposisi limbah organik cair pada tingkat konsentrasi 20%, 40%, 60%, 80% dimana konsentrasi limbah yang semakin meningkat, BOD, COD, dan TSS juga semakin meningkat dengan pH dan oksigen terlarut semakin menurun (Tabel 4) dimana P dan N total masih mendukung proses penguraian limbah, nitrifikasi, fotosintesis, dan oksidasi zat-zat organik, sedangkan limbah organik cair pada tingkat 100%, bakteri pengurai bahan organik tidak mampu melakukan proses dekomposisi dan oksidasi zat-zat organik karena mengalami kondisi oksigen yang kritis dan masam.

Pada kondisi perairan yang alami atau tidak tercemar limbah organik (kontrol) selama 28 hari (Tabel 5), proses penguraian bahan organik, oksidasi

senyawa-senyawa organik, proses nitrifikasi dan fotosintesis yang dilakukan mikroorganisme seperti bakteri dekomposer, bakteri nitrifikasi, dan plankton serta makroorganisme yaitu tanaman kangkung berjalan dengan baik. Dalam hal ini faktor parameter kualitas air sangat mendukung proses tersebut dimana oksigen terlarut (DO) hasil fotosintesis dari plankton dan kangkung memiliki nilai yang relatif seimbang atau lebih tinggi daripada yang dikonsumsi mikroorganisme pengurai bahan organik (BOD) untuk proses dekomposisi dengan derajat kemasaman (pH) yang netral, P dan N total dalam bentuk anorganik yang langsung diserap oleh plankton untuk pembelahan sel dan kangkung untuk pertumbuhan, sedangkan oksigen untuk oksidasi dalam proses kimiawi (COD) dan padatan tersuspensi (TSS) memiliki nilai yang tinggi daripada oksigen terlarut (DO) pada tanpa maupun dengan tanaman kangkung karena adanya zat-zat organik yang berasal dari air sumber dan daun kangkung yang mati dan jatuh ke dalam air. Pada komposisi limbah organik cair tahu tingkat konsentrasi 20% tanpa kangkung, dengan derajat kemasaman (pH) bersifat basa, P dan N total dalam bentuk nitrat dan fosfat yang digunakan oleh plankton sebagai energi untuk proses fotosintesis yang hasil akhirnya berupa oksigen (DO) dengan konsentrasi yang kecil selanjutnya digunakan oleh bakteri pengurai bahan organik untuk proses dekomposisi (BOD) dan oksidasi zat-zat organik (COD). Pada komposisi limbah organik cair tahu tingkat 20% dengan kangkung, derajat kemasaman (pH) bersifat netral, P dan N total dalam bentuk ion hara sebagai pupuk dan proses fotosintesis untuk pertumbuhan tanaman kangkung yang hasil akhirnya berupa oksigen (DO) dengan konsentrasi yang lebih besar selanjutnya digunakan bakteri pengurai bahan organik untuk proses dekomposisi dan oksidasi zat-zat organik. Disamping itu juga kangkung merupakan tanaman tingkat tinggi yang dapat langsung menyerap limbah organik sehingga memiliki nilai BOD, COD, dan TSS yang lebih kecil daripada tanpa kangkung.

Tabel 5. Parameter Kualitas Air pada Komposisi Limbah Organik Cair Tahu Tanpa dan dengan Kangkung Selama 28 Hari Penelitian Secara Simultan

Perlakuan	Komposisi Limbah Setelah 28 hari						
	Tanpa Kangkung						
	BOD	COD	TSS	DO	Ntot	Ptot	pH
T0	4,81	14,36	32,11	6,76	0,27	0,20	7,25
T100	2651,18	3388,64	1526,88	0,48	10,25	7,83	9,08
T80	2137,76	3127,66	1334,42	0,62	9,56	6,24	8,97
T60	1790,02	2819,82	1262,92	0,78	6,84	4,39	8,81
T40	1650,19	2272,32	1016,57	1,21	4,96	2,37	8,61
T20	801,90	1058,98	553,11	1,69	2,02	1,22	8,58
Perlakuan	Komposisi Limbah Setelah 28 hari						
	Dengan Kangkung						
	BOD	COD	TSS	DO	Ntot	Ptot	pH
K0	13,07	121,41	71,87	5,78	0,22	0,11	7,40
K100	950,87	1625,55	174,02	0,85	6,51	4,86	8,06
K80	885,65	1403,97	151,40	1,02	5,65	4,21	8,01
K60	663,86	980,25	145,23	1,43	5,00	3,71	7,88
K40	556,48	878,27	131,31	2,24	3,17	2,07	7,73
K20	120,65	291,61	100,62	4,81	1,31	0,94	7,58



Komposisi limbah organik cair tahu pada tingkat 40%, 60%, dan 80% yang masuk dalam badan air, beban atau tekanan terhadap kualitas air semakin meningkat. Hal ini dibuktikan dengan konsentrasi BOD, COD, TSS, dan pH semakin meningkat serta oksigen terlarut (DO) semakin menurun (Tabel 5). Semakin menurunnya oksigen tersebut, kemampuan bakteri pengurai bahan organik dan bakteri nitrifikasi semakin menurun untuk melakukan proses dekomposisi dan oksidasi zat-zat organik serta proses nitrifikasi akibat adanya persentase limbah yang semakin meningkat, sedangkan plankton dan kangkung semakin lambat untuk melakukan proses fotosintesis dan menyerap limbah organik akibat rusaknya klorofil. Hal ini ditandai dengan adanya beberapa tanaman kangkung yang tidak tumbuh dan daunnya rontok karena oksigen yang dikonsumsi oleh bakteri pengurai bahan organik proporsinya lebih banyak daripada oksigen yang dihasilkan oleh plankton dan kangkung melalui proses fotosintesis.

Komposisi limbah organik cair tahu pada tingkat 100% tanpa dan dengan kangkung, memiliki konsentrasi BOD, COD, TSS, dan pH yang sangat tinggi serta oksigen terlarut (DO) sangat rendah karena bakteri pengurai bahan organik tidak mampu melakukan proses dekomposisi dan oksidasi zat-zat organik serta kangkung juga sudah tidak mampu untuk melakukan proses fotosintesis dan menyerap limbah akibat mengalami kondisi oksigen yang kritis dan basa sehingga tanaman kangkung tidak tumbuh dan mati.

2. Parameter Kualitas Air

Hasil pengamatan rata-rata nilai setiap parameter kualitas air antara lain BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solids*), DO (*Dissolved Oxygen*), N total, P total, dan pH pada setiap perlakuan dengan perbedaan konsentrasi limbah cair tahu tanpa kangkung dan dengan kangkung pada awal dan akhir penelitian sebagai berikut:

2.1. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Pada awal penelitian, menunjukkan limbah cair tahu dengan konsentrasi yang semakin menurun dengan pengenceran air yang semakin banyak memiliki nilai BOD yang semakin kecil. Hal ini karena banyak sedikitnya konsentrasi oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri pengurai bahan organik tergantung dari tinggi rendahnya konsentrasi limbah cair tahu dan banyak sedikitnya volume air sebagai pengencer limbah.

Pada akhir penelitian (28 hari) untuk perlakuan tanpa kangkung, menunjukkan bahwa semakin pekat konsentrasi limbah cair tahu dalam air, semakin banyak kandungan oksigen yang dikonsumsi bakteri pengurai dalam proses dekomposisi, dan semakin besar rata-rata nilai BODnya. Rata-rata nilai BOD pada setiap perlakuan mengalami penurunan, karena oksigen yang diperoleh dari hasil aktivitas fitoplankton dalam proses fotosintesis lebih banyak daripada oksigen yang dikonsumsi bakteri pengurai bahan organik untuk proses dekomposisi.

Penelitian selama 28 hari dengan perlakuan menggunakan kangkung, terjadi penurunan rata-rata nilai BOD pada setiap perlakuan, karena oksigen yang diperoleh dari hasil aktivitas fitoplankton dan kangkung dalam proses fotosintesis serta kangkung itu sendiri secara alamiah mampu menyerap limbah cair tahu lebih banyak dari pada oksigen yang dikonsumsi bakteri pengurai untuk proses dekomposisi. Oleh karena itu setelah proses pengolahan limbah cair tahu pada berbagai konsentrasi dengan menggunakan kangkung sebagai fitoremediator, rata-rata nilai BOD mengalami penurunan yang lebih tinggi dari pada limbah cair tahu tanpa pengolahan dengan kangkung.

Hal ini menurut Theresia (2004), pengolahan limbah organik melalui fitoremediasi dengan menggunakan tanaman air seperti kangkung merupakan salah satu fitoremediator yang efektif karena tanaman tersebut memiliki sistem perakaran serabut yang dalam sampai memenuhi kolom air hingga masuk ke dasar perairan. Morfologi kangkung yang demikian mampu mengabsorpsi limbah, karena akar tersebut secara aktif dapat mengikat partikel-partikel dari limbah organik yang terdapat dalam air, dan selanjutnya ditranslokasikan ke bagian

xylem melalui plasmodesmata. Sedangkan di bagian batang dan daun hanya menyerap limbah organik secara pasif melalui dinding sel dan ruang antar sel sampai ke endodermis dan kemudian limbah tersebut masuk ke dalam xylem melalui plasma sel. Penyerapan limbah organik melalui tanaman kangkung berpengaruh terhadap kandungan limbah yang terdapat dalam perairan. Selanjutnya menurut Rahmadiyah (2000), selain tanaman enceng gondok ternyata kangkung air mampu bertahan dalam perairan yang tercemar dan mampu mengasimilasi limbah organik.

Menurut SK Gubernur Jawa Timur no. 45 tahun 2002 bahwa baku mutu limbah cair tahu untuk nilai BOD adalah 150 mg/L. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa pada perlakuan konsentrasi 20% limbah cair tahu dan 80% air tawar dengan menggunakan tanaman kangkung air sebagai fitoremediator, kondisinya masih dibawah nilai ambang baku mutu limbah karena rata-rata nilai BOD nya hanya mencapai 120,65 mg/L.

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap rata-rata nilai BOD menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) pada akhir penelitian (28 hari) (Lampiran Tabel 15).

Rata-rata nilai BOD tertinggi pada berbagai konsentrasi limbah cair tahu tanpa kangkung yaitu pada perlakuan konsentrasi 100% limbah cair tahu (T100) = 2651,18 mg/L, sedangkan rata-rata nilai BOD yang terendah yaitu pada perlakuan kontrol (konsentrasi 0% limbah cair) (T0) = 4,81 mg/L (Tabel 6). Perlakuan T100 dan T80 tidak berbeda nyata, begitu juga perlakuan T60 dan T40 tidak berbeda nyata, tetapi perlakuan T100 dan T80 berbeda nyata dengan perlakuan T60 dan T40. Hal ini karena oksigen yang dikonsumsi bakteri pengurai untuk melakukan proses dekomposisi beban limbah cair tahu pada tingkat konsentrasi 80% dan 100% lebih banyak daripada konsentrasi 40% dan 60%. Perlakuan T20 menunjukkan adanya perbedaan yang nyata dengan perlakuan T100, T80, T60, dan T40, sedangkan perlakuan T20, T100, T80, T60, dan T40 berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (T0). Oksigen yang dikonsumsi bakteri pengurai untuk proses dekomposisi beban limbah cair tahu pada konsentrasi 20% lebih kecil

daripada perlakuan yang lain sehingga bakteri tersebut mampu menekan tingkat cemaran limbah dengan penurunan rata-rata nilai BOD sebanyak 23,05%.

Tabel 6. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai BOD Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung

Perlakuan	Nilai rata-rata BOD (mg/L) Tanpa Kangkung (T)	Nilai rata-rata BOD (mg/L) Dengan Kangkung (K)
Konsentrasi 0% limbah cair	4,81 a	13,07 a
Konsentrasi 20% limbah cair	801,9 b	120,65 b
Konsentrasi 40% limbah cair	1650,19 c	566,48 c
Konsentrasi 60% limbah cair	1790,02 c	663,86 c
Konsentrasi 80% limbah cair	2137,76 d	885,65 d
Konsentrasi 100% limbah cair	2651,18 d	950,87 d

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Setelah proses fitoremediasi dengan kangkung pada berbagai limbah cair tahu didapatkan rata-rata nilai BOD tertinggi yaitu pada perlakuan konsentrasi 100% limbah cair tahu (K100) = 950,87 mg/L, sedangkan rata-rata nilai BOD yang terendah yaitu pada perlakuan kontrol (konsentrasi 0% limbah cair) (K0) = 13,07 mg/L (Tabel 6). Perlakuan K100 dan K80 tidak berbeda nyata, begitu juga perlakuan K60 dan K40 tidak berbeda nyata, tetapi perlakuan K100 dan K80 berbeda nyata dengan perlakuan K60 dan K40. Hal ini karena oksigen yang dikonsumsi untuk oksidasi limbah organik dan bakteri pengurai untuk melakukan proses dekomposisi beban limbah cair tahu belum mencapai kondisi seimbang dengan oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis tanaman kangkung pada tingkat konsentrasi 80% dan 100% daripada konsentrasi 40% dan 60%. Perlakuan K20 menunjukkan adanya perbedaan yang nyata dengan perlakuan K100, K80, K60, dan K40, sedangkan perlakuan K20, K100, K80, K60, dan K40 berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (K0). Hal ini karena oksigen yang dikonsumsi untuk oksidasi limbah organik dan bakteri pengurai untuk proses dekomposisi beban limbah cair tahu yang konsentrasi semakin meningkat lebih banyak daripada dalam perairan yang kondisinya normal. Pada perlakuan limbah cair tahu pada konsentrasi 20% memiliki rata-rata nilai BOD yang rendah daripada perlakuan yang lain, karena selain konsentrasi limbah cair tahu yang rendah juga

karena oksigen yang dikonsumsi oleh bakteri pengurai untuk proses dekomposisi limbah organik mencapai kondisi yang seimbang dengan oksigen yang dihasilkan dari tanaman kangkung dalam proses fotosintesis sehingga bakteri pengurai dan kangkung mampu menekan tingkat cemaran limbah dengan penurunan rata-rata nilai BOD sebanyak 88,42%.

2.2. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Dengan konsentrasi limbah cair tahu yang semakin meningkat yang ditunjukkan di awal penelitian, semakin banyak pula kandungan oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa-senyawa organik, sehingga rata-rata nilai CODnya semakin besar. Hal ini karena banyak sedikitnya kandungan oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa-senyawa organik tergantung dari tinggi rendahnya konsentrasi limbah cair tahu dan mudah tidaknya bahan organik yang terurai.

Pada akhir penelitian dengan perlakuan tanpa kangkung, terdapat penurunan rata-rata nilai COD pada setiap perlakuan disebabkan karena banyaknya oksigen yang didapatkan dari hasil proses fotosintesis oleh fitoplankton melebihi daripada yang digunakan untuk proses oksidasi senyawa-senyawa organik.

Pada akhir penelitian untuk perlakuan dengan kangkung, terlihat bahwa semakin pekat konsentrasi limbah cair tahu, semakin besar rata-rata nilai COD nya. Penurunan rata-rata nilai COD pada setiap perlakuan karena kangkung air termasuk tanaman tingkat tinggi yang memiliki kemampuan alamiah untuk mengasimilasi senyawa-senyawa organik dan anorganik dari limbah (Priyanto dan Prayitno, 2004). Akar, batang, dan daun tanaman kangkung air berfungsi sebagai penghasil oksigen setelah proses fotosintesis melalui daun dan mampu menyerap senyawa-senyawa limbah organik secara aktif melalui akar serabut. Oleh karena itu setelah proses pengolahan limbah cair tahu pada berbagai konsentrasi dengan menggunakan kangkung sebagai fitoremediator, rata-rata nilai COD mengalami penurunan yang lebih tinggi dari pada limbah cair tahu tanpa pengolahan dengan kangkung.

Menurut Peranginangin (1997), COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi secara biologis menjadi CO_2 dan H_2O .

Menurut SK Gubernur Jawa Timur no. 45 tahun 2002 bahwa baku mutu limbah cair tahu untuk nilai COD adalah 300 mg/L, jadi dari hasil penelitian ini ternyata pada konsentrasi pengenceran mencapai 20% dengan menggunakan tanaman kangkung sebagai fitoremediator, kondisinya masih dibawah nilai ambang baku mutu limbah karena rata-rata COD nya hanya mencapai 291,61 mg/L.

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap rata-rata nilai COD menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) pada akhir penelitian (Lampiran Tabel 16).

Rata-rata nilai COD tertinggi pada berbagai konsentrasi limbah cair tahu tanpa kangkung yaitu pada perlakuan konsentrasi 100% limbah cair tahu (T100) = 3388,64 mg/L, sedangkan rata-rata nilai COD yang terendah yaitu pada perlakuan kontrol (konsentrasi 0% limbah cair) (T0) = 14,36 mg/L (Tabel 7). Perlakuan T100 dan T80 tidak berbeda nyata, begitu juga perlakuan T80 dan T60 tidak berbeda nyata, tetapi perlakuan T100, T80, T60, dan T40 berbeda nyata dengan perlakuan T20. Perlakuan T100, T80, T60, T40, dan T20 berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (T0). Hal ini disebabkan karena jumlah oksigen yang dikonsumsi mikroorganisme untuk mengoksidasi senyawa-senyawa limbah organik cair tahu pada tingkat konsentrasi 40%, 60%, 80%, dan 100% lebih banyak daripada konsentrasi 20% dan jumlah oksigen yang dikonsumsi mikroorganisme melalui oksidasi limbah organik cair tahu dalam lingkungan perairan yang terkontaminasi limbah cair dengan berbagai tingkat konsentrasi lebih banyak daripada kondisi perairan yang normal. Pada perlakuan limbah cair tahu dengan konsentrasi 20% memiliki rata-rata nilai COD yang rendah daripada perlakuan yang lain, karena selain konsentrasi limbah cair tahu yang rendah juga karena oksigen yang dikonsumsi oleh bakteri pengurai untuk oksidasi senyawa-senyawa organik dan proses dekomposisi limbah organik mencapai kondisi yang

seimbang dengan oksigen yang dihasilkan dari fitoplankton dalam proses fotosintesis sehingga bakteri tersebut mampu menekan tingkat cemaran limbah dengan penurunan rata-rata nilai COD sebanyak 25,21%.

Tabel 7. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai COD Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung

Perlakuan	Nilai rata-rata COD (mg/L) Tanpa Kangkung (T)	Nilai rata-rata COD (mg/L) Dengan Kangkung (K)
Konsentrasi 0% limbah cair	14,36 a	121,41 a
Konsentrasi 20% limbah cair	1058,98 b	291,61 b
Konsentrasi 40% limbah cair	2272,32 c	878,27 c
Konsentrasi 60% limbah cair	2819,28 d	980,25 c
Konsentrasi 80% limbah cair	3127,66 de	1403,97 d
Konsentrasi 100% limbah cair	3388,64 e	1625,55 e

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Untuk rata-rata nilai COD tertinggi pada berbagai limbah cair tahu setelah proses fitoremediasi dengan kangkung yaitu pada perlakuan konsentrasi 100% limbah cair tahu (K100) = 1625,55 mg/L, sedangkan rata-rata nilai COD yang terendah yaitu pada perlakuan kontrol (konsentrasi 0% limbah cair) (K0) = 121,41 mg/L (Tabel 7). Perlakuan K60 dan K40 tidak berbeda nyata, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan K20, K100, dan K80. Hal ini karena oksigen yang dikonsumsi untuk oksidasi limbah organik dan bakteri pengurai untuk melakukan proses dekomposisi beban limbah cair tahu, belum mencapai kondisi seimbang dengan oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis tanaman kangkung pada tingkat konsentrasi 40% dan 60% daripada konsentrasi 20%, 80%, dan 100%. Perlakuan K20 menunjukkan adanya perbedaan yang nyata dengan perlakuan K100, K80, K60, dan K40, sedangkan perlakuan K20, K100, K80, K60, dan K40 berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (K0). Hal ini karena oksigen yang dikonsumsi untuk oksidasi limbah organik dan bakteri pengurai untuk proses dekomposisi beban limbah cair tahu yang konsentrasi semakin meningkat lebih banyak daripada dalam perairan yang kondisinya normal. Pada perlakuan limbah cair tahu pada konsentrasi 20% memiliki rata-rata nilai COD yang rendah daripada perlakuan yang lain, karena selain konsentrasi limbah cair tahu yang rendah juga

karena oksigen yang dikonsumsi oleh bakteri pengurai untuk proses dekomposisi limbah organik mencapai kondisi yang seimbang dengan oksigen yang dihasilkan dari tanaman kangkung melalui proses fotosintesis sehingga bakteri pengurai dan kangkung mampu menekan tingkat cemaran limbah dengan penurunan rata-rata nilai COD sebanyak 79,40%.

2.3. *Total Suspended Solid (TSS)*

Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa di awal penelitian konsentrasi limbah cair tahu yang semakin meningkat, padatan limbah tersebut yang tersuspensi dalam air juga semakin meningkat, sehingga rata-rata nilai TSS nya semakin besar. Hal ini disebabkan banyak sedikitnya konsentrasi limbah cair tahu tergantung dari banyak sedikitnya jumlah, besar kecilnya ukuran, dan kecepatan padatan limbah tersebut untuk mengendap ke dasar perairan.

Setelah 28 hari penelitian pada perlakuan tanpa kangkung, terjadi peningkatan rata-rata nilai TSS pada setiap perlakuan karena banyaknya partikel-partikel organik yang halus berasal dari pengenceran padatan organik limbah cair tahu yang berlangsung secara bertahap dengan kondisi melayang-layang dalam air.

Untuk perlakuan dengan kangkung pada akhir penelitian menunjukkan bahwa penurunan rata-rata nilai TSS pada setiap perlakuan karena kangkung air termasuk tanaman tingkat tinggi yang memiliki akar, batang, dan daun yang mampu menyerap senyawa-senyawa limbah organik secara aktif melalui akar serabut dan secara pasif melalui batang dan daun. Pada lahan basah, terbukti tanaman dapat meningkatkan penguraian materi limbah 2-3 kali lebih banyak dibandingkan tanpa tanaman. Perakaran tanaman menjadi tempat yang ideal bagi pelekatan mikroorganisme yang berperan dalam biodegradasi materi pencemar dalam air. Melalui mekanisme pompa oksigen, tumbuhan mampu mentransfer oksigen ke daerah sekitar perakaran. Materi pencemar yang ada dalam air melalui proses biodegradasi atau mineralisasi oleh mikroba, absorpsi oleh perakaran tanaman, presipitasi dan mineralisasi menjadikan konsentrasi materi pencemar menurun dengan tajam (Watson *et al.*, 1989; Reed *et al.*, 1995). Dengan

demikian, setelah proses pengolahan limbah cair tahu pada berbagai konsentrasi dengan menggunakan kangkung sebagai fitoremediator, rata-rata nilai TSS mengalami penurunan dimana berbanding terbalik dengan perlakuan tanpa pengolahan menggunakan kangkung yang rata-rata nilai TSSnya mengalami peningkatan.

Menurut APHA (1998), untuk membedakan padatan yang tersuspensi dengan padatan yang terlarut tergantung pada ukuran pori, ketebalan kertas saring, ukuran partikel, dan jumlah serta jenis bahan yang mengendap di dalam saringan. Padatan yang terlarut adalah padatan yang lolos melalui saringan millipore dengan ukuran pori 2,0 μm , sedangkan padatan yang tersuspensi adalah padatan yang tertahan pada saringan millipore dengan ukuran pori $> 2,0 \mu\text{m}$. Mengenai pengertian padatan tersuspensi total yaitu semua jenis bahan padatan tersuspensi yang tertahan pada saringan millipore dengan ukuran pori $> 2,0 \mu\text{m}$. Komponen padatan tersuspensi total yaitu lumpur, pasir halus, dan mikroorganisme yang pada umumnya berasal dari erosi tanah dan air limbah yang masuk ke dalam air.

Hasil penelitian ini menunjukkan ternyata pada perlakuan konsentasi 20% limbah cair tahu dan 80% air tawar dengan menggunakan tanaman kangkung sebagai fitoremediator, didapatkan rata-rata nilai TSS nya mencapai 100,62 mg/L yang relatif sama dengan nilai ambang baku mutu limbah cair tahu yang ditetapkan berdasarkan SK Gubernur Jawa Timur No. 45 tahun 2002 untuk nilai TSS adalah 100 mg/L.

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap rata-rata nilai TSS menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) pada akhir penelitian (Lampiran Tabel 17).

Rata-rata nilai TSS tertinggi pada berbagai konsentrasi limbah cair tahu tanpa kangkung yaitu pada perlakuan konsentrasi 100% limbah cair tahu (T100) = 1526,88 mg/L, sedangkan rata-rata nilai TSS yang terendah yaitu pada perlakuan kontrol (konsentrasi 0% limbah cair) (T0) = 32,11 mg/L (Tabel 8). Peningkatan rata-rata nilai TSS pada setiap perlakuan disebabkan karena banyaknya partikel-partikel organik yang halus berasal dari pengenceran padatan organik limbah cair tahu yang berlangsung secara bertahap dengan kondisi melayang-layang dalam

air. Perlakuan T80 dan T60 tidak berbeda nyata, begitu juga perlakuan T100 dan T80 tidak berbeda nyata, tetapi perlakuan T100, T80, T60, dan T40 berbeda nyata dengan perlakuan T20. Perlakuan T100, T80, T60, T40, dan T20 berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (T0). Banyak sedikitnya partikel-partikel organik yang tersuspensi tergantung dari tinggi rendahnya konsentrasi limbah cair tahu. Partikel-partikel organik yang halus dari pengenceran padatan limbah organik cair tahu yang tersuspensi pada tingkat konsentrasi 60%, 80%, dan 100% lebih banyak daripada konsentrasi 20% dan 40%. Banyaknya partikel-partikel organik yang halus dari padatan limbah organik cair tahu dalam lingkungan perairan yang terkontaminasi dengan berbagai tingkat konsentrasi lebih banyak daripada kondisi perairan yang normal. Pada perlakuan limbah cair tahu dengan konsentrasi 20% memiliki rata-rata nilai TSS yang rendah daripada perlakuan yang lain, karena selain konsentrasi limbah cair tahu yang rendah juga karena peningkatan padatan tersuspensi berkurang berkat adanya bantuan dari bakteri pengurai untuk oksidasi senyawa-senyawa organik dan proses dekomposisi limbah organik mendekati kondisi yang seimbang dengan senyawa-senyawa anorganik sebagai nutrisi yang langsung diserap oleh fitoplankton untuk pertumbuhannya sehingga bakteri tersebut mampu menekan tingkat cemaran limbah hanya dengan peningkatan rata-rata nilai TSS sebanyak 52,73%.

Tabel 8. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai TSS Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung

Perlakuan	Nilai rata-rata TSS (mg/L) Tanpa Kangkung (T)	Nilai rata-rata TSS (mg/L) Dengan kangkung (K)
Konsentrasi 0% limbah cair	32,11 a	71,87 a
Konsentrasi 20% limbah cair	553,11 b	100,62 b
Konsentrasi 40% limbah cair	1016,57 c	131,31 c
Konsentrasi 60% limbah cair	1262,92 d	145,23 c
Konsentrasi 80% limbah cair	1334,42 de	151,4 cd
Konsentrasi 100% limbah cair	1526,88 e	174,02 d

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Setelah proses fitoremediasi dengan kangkung pada berbagai limbah cair tahu didapatkan rata-rata nilai TSS tertinggi yaitu pada perlakuan konsentrasi

100% limbah cair tahu (K100) = 174,02 mg/L, sedangkan rata-rata nilai TSS yang terendah yaitu pada perlakuan kontrol (konsentrasi 0% limbah cair) (K0) = 71,87 mg/L (Tabel 8). Berkurangnya rata-rata nilai TSS selain karena teroksidasi, juga bakteri pengurai melalui proses dekomposisi yang hasil akhirnya berupa senyawa-senyawa anorganik sebagai nutrisi yang langsung diserap oleh fitoplankton dan tanaman kangkung untuk pertumbuhannya. Perlakuan K80, K60 dan K40 tidak berbeda nyata, begitu juga dengan perlakuan K80 dan K100, tetapi perlakuan K100 berbeda nyata dengan K60 dan K40. Hal ini karena oksigen yang dikonsumsi untuk oksidasi limbah organik dan bakteri pengurai untuk melakukan proses dekomposisi beban limbah cair tahu, belum mencapai kondisi seimbang dengan oksigen yang dihasilkan dari fotosintesis tanaman kangkung pada tingkat konsentrasi 40%, 60%, 80% daripada konsentrasi 20% dan 100%. Perlakuan K20 berbeda nyata dengan perlakuan K100, K80, K60, dan K40, sedangkan perlakuan K20, K100, K80, K60, dan K40 berbeda nyata dengan kontrol (K0). Hal ini karena oksigen yang dikonsumsi untuk oksidasi limbah organik dan bakteri pengurai untuk proses dekomposisi beban limbah cair tahu yang konsentrasi semakin meningkat lebih banyak daripada dalam perairan yang kondisinya normal. Pada perlakuan limbah cair tahu pada konsentrasi 20% memiliki rata-rata nilai TSS yang rendah daripada perlakuan yang lain, karena selain konsentrasi limbah cair tahu yang rendah juga karena oksigen yang dikonsumsi oleh bakteri pengurai untuk proses dekomposisi limbah organik mencapai kondisi yang seimbang dengan oksigen yang dihasilkan dari tanaman kangkung dalam proses fotosintesis sehingga bakteri pengurai dan kangkung mampu menekan tingkat cemaran limbah sampai rata-rata nilai TSS nya 33,28%.

2.4. *Dissolved Oxygen (DO)*

Dengan badan air yang terkontaminasi dengan berbagai konsentrasi limbah cair tahu, dimana pada setiap konsentrasi limbah yang semakin meningkat, semakin kecil rata-rata nilai kandungan oksigennya, kecuali pada kontrol.

Adanya cemaran limbah cair tahu pada tingkat konsentrasi yang semakin tinggi, masuk ke dalam perairan tanpa adanya pengolahan melalui proses

fitoremediasi dengan kangkung, pada akhir penelitian rata-rata nilai kandungan oksigennya semakin kecil. Hal ini karena kandungan oksigen tersebut dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai energi untuk mengubah limbah organik menjadi anorganik melalui proses dekomposisi dan oksidasi senyawa-senyawa organik di dalam perairan. Penurunan rata-rata nilai DO pada kontrol karena oksigen tersebut dimanfaatkan mikroorganisme untuk proses dekomposisi dan oksidasi limbah organik, sedangkan peningkatan rata-rata nilai DO pada perlakuan yang lain karena sumber oksigen didapatkan dari hasil akhir proses fotosintesis dari fitoplankton.

Adanya cemaran limbah cair tahu pada tingkat konsentrasi yang semakin tinggi, masuk ke dalam perairan dengan adanya pengolahan melalui proses fitoremediasi dengan kangkung, pada akhir penelitian rata-rata nilai kandungan oksigennya semakin kecil. Hal ini karena kandungan oksigen tersebut dimanfaatkan oleh kangkung sebagai energi untuk mengasimilasi limbah organik dan respirasi serta oksidasi senyawa-senyawa organik di dalam perairan. Penurunan rata-rata nilai DO pada kontrol karena peran mikroorganisme pengurai limbah organik masih lebih dominan dalam memanfaatkan oksigen untuk proses dekomposisi dan oksidasi senyawa-senyawa organik daripada kangkung. Sedangkan pada perlakuan berbagai limbah cair tahu terjadi peningkatan rata-rata nilai DO. Peranan kangkung sangat dominan dalam melakukan metabolisme karbohidrat melalui proses fotosintesis yang setelah mengalami dehidrogenasi, hasil akhirnya adalah sumber oksigen. Oleh karena itu setelah proses pengolahan limbah cair tahu pada berbagai konsentrasi dengan menggunakan kangkung sebagai fitoremediator, rata-rata nilai DO mengalami peningkatan yang lebih tinggi dari pada limbah cair tahu tanpa pengolahan dengan kangkung.

Menurut Effendi (2003), bahwa dalam proses fotosintesis karbondioksida direduksi menjadi karbohidrat dan air mengalami dehidrogenasi menjadi oksigen.

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap rata-rata nilai DO menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) pada akhir penelitian (Lampiran Tabel 18).

Rata-rata nilai DO tertinggi pada berbagai konsentrasi limbah cair tahu tanpa kangkung yaitu pada perlakuan kontrol (konsentrasi 0% limbah cair) (T0) = 6,76 mg/L, sedangkan rata-rata nilai DO yang terendah yaitu pada perlakuan konsentrasi 100% limbah cair (T100) = 0,48 mg/L (Tabel 9). Hal ini dapat dikatakan bahwa pada kondisi perairan yang normal (tidak tercemar) proses fotosintesis yang dilakukan fitoplankton berjalan dengan baik tanpa adanya hambatan dari beban limbah cair tahu seperti BOD, COD, dan TSS sehingga oksigen yang didapatkan dari hasil fotosintesis lebih banyak daripada oksigen yang dikonsumsi mikroorganisme untuk proses oksidasi dan dekomposisi limbah organik tersebut. Perlakuan T40 dan T20 tidak berbeda nyata, begitu juga perlakuan T100, T80, dan T60 tidak berbeda nyata, tetapi perlakuan T100, T80, dan T60 berbeda nyata dengan perlakuan T40 dan T20. Perlakuan T100, T80, T60, T40, dan T20 berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (T0). Hal ini karena pada perairan yang terkontaminasi limbah cair tahu, oksigen yang didapatkan dari proses fotosintesis oleh fitoplankton pada tingkat konsentrasi 20% dan 40%, masih memiliki porsi yang lebih banyak daripada oksigen yang dikonsumsi mikroorganisme untuk proses oksidasi dan dekomposisi limbah cair tahu yang terjadi pada tingkat konsentrasi 60%, 80%, dan 100%.

Tabel 9. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai DO Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung

Perlakuan	Nilai rata-rata DO (mg/L) Tanpa Kangkung (T)	Nilai rata-rata DO (mg/L) Dengan kangkung (K)
Konsentrasi 0% limbah cair	6,76 a	5,78 a
Konsentrasi 20% limbah cair	1,69 b	4,81 b
Konsentrasi 40% limbah cair	1,21 b	2,24 c
Konsentrasi 60% limbah cair	0,78 c	1,43 c
Konsentrasi 80% limbah cair	0,62 c	1,02 cd
Konsentrasi 100% limbah cair	0,48 c	0,85 d

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Untuk rata-rata nilai DO tertinggi pada berbagai limbah cair tahu setelah proses fitoremediasi dengan kangkung yaitu pada perlakuan kontrol (konsentrasi 0% limbah cair tahu) (K0) = 5,78 mg/L, sedangkan rata-rata nilai DO yang

terendah yaitu pada perlakuan konsentrasi 100% limbah cair tahu (K100) = 0,85 mg/L (Tabel 9). Hal ini dapat dikatakan bahwa perairan yang lestari, proses fotosintesis yang dilakukan oleh fitoplankton dan kangkung air berjalan dengan baik, adanya senyawa-senyawa anorganik sebagai nutrisi yang langsung diserap oleh fitoplankton dan tanaman kangkung air untuk pertumbuhannya sehingga peningkatan kandungan oksigen umumnya berbanding terbalik dengan kandungan limbah dengan konsentrasi yang semakin meningkat. Perlakuan K80, K60 dan K40 tidak berbeda nyata, begitu juga dengan perlakuan K80 dan K100, tetapi perlakuan K100 berbeda nyata dengan K60 dan K40. Hal ini karena oksigen yang dikonsumsi untuk oksidasi limbah organik dan bakteri pengurai untuk melakukan proses dekomposisi beban limbah cair tahu, belum mencapai kondisi seimbang dengan oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis tanaman kangkung dan fitoplankton pada tingkat konsentrasi 40%, 60%, 80% daripada konsentrasi 20% dan 100%. Perlakuan K20 berbeda nyata dengan perlakuan K100, K80, K60, dan K40, sedangkan perlakuan K20, K100, K80, K60, dan K40 berbeda nyata dengan kontrol (K0). Hal ini karena oksigen yang dikonsumsi untuk oksidasi limbah organik dan bakteri pengurai untuk proses dekomposisi beban limbah cair tahu yang konsentrasi semakin meningkat lebih banyak daripada dalam perairan yang kondisinya normal. Pada perlakuan limbah cair tahu pada konsentrasi 20% memiliki rata-rata nilai DO yang tinggi daripada perlakuan yang lain selain kontrol, karena selain konsentrasi limbah cair tahu yang rendah juga oksigen yang dihasilkan dari tanaman kangkung dan fitoplankton dalam proses fotosintesis memiliki jumlah yang lebih banyak daripada bakteri pengurai untuk proses dekomposisi limbah organik.

2.5. N Total

Hasil pengamatan rata-rata nilai N total pada awal penelitian menunjukkan bahwa limbah cair tahu pada setiap perlakuan yang memiliki konsentrasi yang semakin pekat, memiliki kandungan N total yang semakin tinggi. Hal ini karena banyaknya kandungan N total tergantung dari penumpukan hasil penguraian bahan organik melalui proses metabolisme dari protein menjadi amoniak, dan

proses nitrifikasi dari amoniak menjadi nitrit, dan nitrit menjadi nitrat. Biasanya di dalam perairan, kandungan N total terikat dalam bentuk amoniak, nitrit, dan nitrat.

Pada perlakuan tanpa kangkung, menunjukkan bahwa setelah 28 hari penelitian, dimana banyaknya kandungan N total pada setiap perlakuan berbeda, hal ini tergantung dari banyaknya konsentrasi limbah cair tahu yang mengalami penguraian bahan organik melalui proses metabolisme dari protein menjadi amoniak, selanjutnya terjadi proses nitrifikasi amoniak menjadi nitrit oleh bakteri *Nitrosomonas* dan nitrit menjadi nitrat oleh bakteri *Nitrobacter*. Sedangkan aktivitas bakteri nitrifikasi sangat dipengaruhi oleh jumlah kandungan oksigen, suhu, dan pH air. Menurut Taufik (1988) bahwa proses nitrifikasi dapat berlangsung dengan cepat pada suhu 25 – 35°C, pH 7 – 8, dan oksigen terlarut di atas 4 mg/L. Penurunan rata-rata nilai N total pada setiap perlakuan karena unsur nitrogen merupakan unsur hara yang sangat diperlukan oleh mikroorganisme terutama fitoplankton dalam proses fotosintesis, umumnya diserap dalam bentuk nitrat.

Hasil pengamatan rata-rata nilai N total pada setiap perlakuan perbedaan limbah cair tahu dengan kangkung pada akhir penelitian (28 hari) menunjukkan bahwa limbah cair tahu pada setiap perlakuan yang memiliki konsentrasi semakin pekat, memiliki kandungan N total semakin tinggi. Hal ini karena banyaknya kandungan N total tergantung dari penumpukan kandungan amoniak, nitrit, dan nitrat, hasil penguraian bahan organik melalui proses metabolisme dan nitrifikasi yang dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Penurunan rata-rata nilai N total pada setiap perlakuan karena unsur nitrogen merupakan unsur hara makroelemen yang sangat diperlukan dan diserap dalam bentuk nitrat oleh organisme tingkat tinggi seperti kangkung air melalui proses fotosintesis dalam jumlah lebih banyak daripada mikroorganisme seperti fitoplankton. Oleh karena itu setelah proses pengolahan limbah cair tahu pada berbagai konsentrasi dengan menggunakan kangkung sebagai fitoremediator, rata-rata nilai N total mengalami penurunan yang lebih tinggi dari pada limbah cair tahu tanpa pengolahan dengan kangkung.

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap rata-rata nilai N total menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) pada akhir penelitian (Lampiran Tabel 19).

Rata-rata nilai N total tertinggi pada berbagai konsentrasi limbah cair tahu tanpa kangkung yaitu pada perlakuan konsentrasi 100% limbah cair tahu (T100) = 10,25 mg/L, sedangkan rata-rata nilai N total terendah yaitu pada perlakuan kontrol (konsentrasi 0% limbah cair) (T0) = 0,27 mg/L (Tabel 10). Perlakuan T100 dan T80 tidak berbeda nyata pada taraf 5%, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan T60, T40, T20, dan T0. Hal ini dapat dikatakan semakin tinggi konsentrasi limbah cair tahu dalam perairan, semakin banyak penumpukan hasil penguraian bahan organik protein menjadi amoniak. Sementara kemungkinan populasi bakteri nitrifikasi (*Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*) yang berada secara alami tidak seimbang dengan beban limbah, akibatnya proses nitrifikasi tidak maksimal sehingga terjadi penumpukan N dalam bentuk amoniak dan nitrit pada tingkat konsentrasi 40%, 60%, 80%, dan 100%. Perlakuan limbah cair tahu pada konsentrasi 20% memiliki rata-rata nilai N yang rendah daripada perlakuan yang lain, karena selain konsentrasi limbah cair tahu yang rendah, juga dalam proses nitrifikasi secara alami populasi bakteri *Nitrobacter* mendekati seimbang dengan bakteri *Nitrosomonas* dimana nitrit dengan cepat akan terkonversi dalam bentuk nitrat sehingga banyak kandungan N dalam bentuk nitrat yang langsung dapat diserap oleh fitoplankton. Menurut Arniati (2007), unsur nitrogen merupakan unsur hara yang diperlukan organisme dalam proses fotosintesis dan diserap dalam bentuk nitrat.

Tabel 10. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai N Total Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung

Perlakuan	Nilai rata-rata N total (mg/L) Tanpa Kangkung (T)	Nilai rata-rata N total (mg/L) Dengan Kangkung (K)
Konsentrasi 0% limbah cair	0,27 a	0,22 a
Konsentrasi 20% limbah cair	2,02 b	1,31 b
Konsentrasi 40% limbah cair	4,96 c	3,17 c
Konsentrasi 60% limbah cair	6,84 d	5,0 d
Konsentrasi 80% limbah cair	9,56 e	5,65 de
Konsentrasi 100% limbah cair	10,25 e	6,51 e

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Rata-rata nilai N total tertinggi pada berbagai limbah cair tahu setelah proses fitoremediasi dengan kangkung yaitu pada perlakuan konsentrasi 100% limbah cair tahu (K100) = 6,51 mg/L, sedangkan rata-rata nilai N total yang terendah yaitu pada perlakuan kontrol (konsentrasi 0% limbah cair tahu (K0) = 0,22 mg/L (Tabel 10). Hal ini dapat dikatakan bahwa perairan yang kondisinya normal atau tidak tercemar memiliki kondisi perairan aerobik yang didukung oleh suhu, oksigen, dan pH yang optimal, proses nitrifikasi berjalan dengan cepat dimana populasi bakteri *Nitrobacter* dan *Nitrosomonas* dalam keadaan seimbang atau lebih banyak sehingga banyak kandungan N dalam bentuk hara yang langsung diserap oleh tanaman kangkung dan fitoplankton. Perlakuan K100 dan K80 tidak berbeda nyata, begitu juga dengan perlakuan K80 dan K60, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan K40. Hal ini karena perlakuan dengan perbedaan konsentrasi yang semakin meningkat pada tingkat konsentrasi 40%, 60%, 80%, dan 100%, proses nitrifikasi berjalan semakin lambat karena tidak ada keseimbangan populasi dan kemampuan bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* untuk mengkonversi amoniak menjadi nitrit dan nitrit menjadi nitrat sehingga terjadi penumpukan kandungan N dalam bentuk amoniak dan nitrit di perairan. Perlakuan K20 berbeda nyata dengan K100, K80, K60, dan K40 yang berarti perlakuan konsentrasi 20% limbah cair memiliki kandungan N yang lebih rendah daripada perlakuan lainnya. Hal ini karena disamping rendahnya konsentrasi limbah, kandungan N yang dihasilkan pada perlakuan konsentrasi 20% limbah

merupakan hasil dari proses nitrifikasi yang maksimal dimana populasi kedua bakteri nitrifikasi dalam kondisi seimbang sehingga banyak kandungan N yang terkonversi dalam bentuk nitrat (hara) yang langsung diserap oleh tanaman kangkung dan fitoplankton.

2.6. P Total

Dilihat dari nilai P total pada awal penelitian menunjukkan bahwa limbah cair tahu pada setiap perlakuan yang memiliki konsentrasi yang semakin pekat, memiliki kandungan P total yang semakin tinggi. Hal ini karena banyaknya kandungan P total tergantung dari penumpukan hasil penguraian bahan organik melalui proses metabolisme. Biasanya di dalam perairan, kandungan P total terikat dalam bentuk fosfat dan yang diserap oleh mikroorganisme dalam bentuk P anorganik.

Pada perlakuan tanpa kangkung selama 28 hari, menunjukkan bahwa banyaknya kandungan P total pada setiap perlakuan berbeda tergantung dari banyaknya konsentrasi limbah cair tahu yang mengalami penguraian bahan organik melalui proses metabolisme seperti fotosintesis, kemosintesis, dan dekomposisi. Yang dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai nutrisi dalam proses metabolisme karbohidrat dalam bentuk P anorganik. Penurunan rata-rata nilai P total pada setiap perlakuan disebabkan karena unsur fosfor anorganik merupakan unsur hara yang sangat diperlukan oleh mikroorganisme terutama fitoplankton dalam proses fotosintesis, umumnya diserap dalam bentuk fosfat.

Untuk pengolahan melalui fitoremediasi dengan kangkung pada akhir penelitian, terlihat bahwa limbah cair tahu pada setiap perlakuan yang memiliki konsentrasi semakin pekat, memiliki kandungan P total semakin tinggi. Hal ini karena banyaknya kandungan P total tergantung dari penumpukan hasil penguraian bahan organik melalui proses metabolisme. Penurunan rata-rata nilai P total pada setiap perlakuan karena unsur fosfor anorganik merupakan unsur hara makroelemen yang sangat diperlukan oleh tanaman tingkat tinggi seperti kangkung air dalam proses metabolisme, yang umumnya diserap dalam bentuk fosfat. Oleh karena itu setelah proses pengolahan limbah cair tahu pada berbagai

konsentrasi dengan menggunakan kangkung sebagai fitoremediator, rata-rata nilai P total mengalami penurunan yang lebih banyak dari pada limbah cair tahu tanpa pengolahan dengan kangkung.

Menurut Welch (1996) bahwa P anorganik terlarut merupakan unsur hara yang sangat diperlukan oleh tanaman dan mikroorganisme perairan untuk proses metabolisme seperti fotosintesis, kemosintesis, dan dekomposisi. Kandungan P anorganik tersebut umumnya diserap organisme dalam bentuk fosfat. Senyawa fosfat dalam perairan berasal dari sumber alami seperti erosi tanah, lintasan air permukaan, dan pembusukan organisme (Utojo *et al.*, 2005).

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap rata-rata nilai P total menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) pada akhir penelitian (Lampiran Tabel 20).

Rata-rata nilai P total tertinggi pada berbagai konsentrasi limbah cair tahu tanpa kangkung yaitu pada perlakuan konsentrasi 100% limbah cair tahu (T100) = 7,83 mg/L, sedangkan rata-rata nilai P total terendah yaitu pada perlakuan kontrol (konsentrasi 0% limbah cair) (T0) = 0,20 mg/L (Tabel 11). Semua perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu tanpa kangkung berbeda nyata pada taraf 5%, kecuali pada perlakuan T40 dan T20 tidak berbeda nyata begitu juga pada perlakuan T20 dan T0 tidak berbeda nyata. Hal ini dapat dikatakan bahwa perlakuan konsentrasi limbah cair 100% memiliki kandungan P total yang lebih tinggi daripada perlakuan limbah cair 80%, 60%, dan 40%. Hal ini karena banyaknya kandungan P total pada setiap perlakuan dengan konsentrasi yang semakin meningkat, tergantung dari banyaknya konsentrasi limbah cair tahu yang mengalami penguraian bahan organik melalui proses metabolisme seperti fotosintesis, kemosintesis, dan dekomposisi. Kemungkinan kandungan P tersebut berada dalam perairan yang belum terkonversi dalam bentuk P anorganik. Sedangkan pada perlakuan limbah cair dengan konsentrasi 0% dan 20% merupakan konsentrasi limbah cair yang rendah dan dalam perairan masih termasuk dalam kondisi yang normal sehingga banyak P yang terkonversi dalam bentuk P anorganik yang langsung dimanfaatkan oleh mikroorganisme melalui proses metabolisme karbohidrat untuk pertumbuhannya.

Tabel 11. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai P Total Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung

Perlakuan	Nilai rata-rata P total (mg/L) Tanpa Kangkung (T)	Nilai rata-rata P total (mg/L) Dengan Kangkung (K)
Konsentrasi 0% limbah cair	0,2 a	0,11 a
Konsentrasi 20% limbah cair	1,22 ab	0,94 a
Konsentrasi 40% limbah cair	2,37 b	2,07 b
Konsentrasi 60% limbah cair	4,39 c	3,71 c
Konsentrasi 80% limbah cair	6,24 d	4,21 cd
Konsentrasi 100% limbah cair	7,83 e	4,86 d

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Untuk rata-rata nilai P total tertinggi pada berbagai limbah cair tahu setelah proses fitoremediasi dengan kangkung yaitu pada perlakuan konsentrasi 100% limbah cair tahu (K100) = 4,86 mg/L, sedangkan rata-rata nilai P total yang terendah yaitu pada perlakuan kontrol (0% limbah cair tahu) (K0) = 0,11 mg/L (Tabel 11). Hal ini karena pada perairan yang tidak tercemar oleh limbah (kontrol), proses fotosintesis yang dilakukan oleh fitoplankton dan kangkung air berjalan dengan baik sehingga banyak unsur P anorganik sebagai nutrisi yang langsung diserap oleh fitoplankton dan tanaman kangkung air untuk pertumbuhannya, sedangkan pada perlakuan berbagai limbah cair dengan konsentrasi yang semakin meningkat dan perlakuan 100% limbah cair yang memiliki rata-rata nilai P total yang tertinggi. Tingginya kandungan P tersebut kebanyakan berasal dari P organik yang merupakan hasil penguraian limbah cair tahu. Perlakuan K0 dan K20 tidak berbeda nyata, begitu juga dengan perlakuan K80 dan K60, K80 dan K100 tidak berbeda nyata, tetapi perlakuan K20 berbeda nyata dan memiliki P total yang lebih rendah daripada semua perlakuan. Hal ini karena pada perairan yang kondisinya normal sampai dengan terkontaminasi limbah cair pada tingkat konsentrasi 20% memiliki P yang terendah karena lebih banyak kandungan P anorganik yang dihasilkan dari bakteri pengurai limbah organik melalui proses dekomposisi beban limbah cair tahu yang langsung dapat diserap oleh tanaman kangkung dan fitoplankton untuk pertumbuhannya. Banyaknya kandungan P pada perlakuan limbah cair dengan konsentrasi 40%,

60%, 80%, dan 100% karena masih dalam bentuk P organik dan belum mencapai kondisi seimbang antara populasi bakteri pengurai bahan organik, oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis tanaman kangkung dan fitoplankton, oksigen yang dikonsumsi oleh bakteri pengurai bahan organik, dan banyaknya beban limbah.

2.7. pH

Pengukuran pH pada awal penelitian dari perlakuan kontrol (0% limbah cair tahu dan 100% air tawar) adalah 7,16 dan pH pada perlakuan 20% limbah cair tahu dan 80% air tawar sebesar 5,27. Sedangkan pada perlakuan 100% limbah, 80% limbah, 60% limbah, 40% limbah, pHnya mencapai 4,01 – 4,32. Tetapi setelah dilakukan fitoremediasi dengan kangkung selama 28 hari ternyata terjadi perubahan pH, pada K0 yaitu 7,4 dan pada K20 sebesar 7,58. Untuk perlakuan K40, K60, K80 dan K100 mempunyai pH antara 7,73 – 8,06. Perubahan pH juga terjadi pada perlakuan yang tanpa kangkung. Untuk T0, mempunyai pH 7,25 dan pada perlakuan T20 adalah 8,58 sedangkan pada perlakuan T40, T60, T80 dan T100 pHnya mencapai 8,61 - 9,08. Menurut Fet (1994) dalam Theresia (2004), bahwa setiap tanaman akuatik mempunyai toleransi pH yang berbeda dan kangkung sebagai tanaman air sangat adaptif dengan tingkat evapotranspirasi yang sangat tinggi, maka penyerapan limbah secara pasifpun dapat berlangsung melalui membran osmosis.

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap rata-rata nilai pH menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) pada akhir penelitian (Lampiran Tabel 21).

Rata-rata nilai pH tertinggi pada berbagai konsentrasi limbah cair tahu tanpa kangkung yaitu pada perlakuan konsentrasi 100% limbah cair tahu (T100) = 9,08, sedangkan rata-rata nilai pH terendah yaitu pada perlakuan kontrol (konsentrasi 0% limbah cair tahu dan 100% air tawar) (T0) = 7,25 (Tabel 12). Semua perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu tanpa kangkung tidak menunjukkan perbedaan yang nyata, kecuali pada perlakuan kontrol. Hal ini berarti tidak ada pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair terhadap

peningkatan nilai pH. Perlakuan T100, T80, T60, T40, T20 tidak menunjukkan perbedaan yang nyata, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan T0.

Tabel 12. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai pH Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung

Perlakuan	Nilai rata-rata pH Tanpa kangkung (T)	Nilai rata-rata pH Dengan kangkung (K)
Konsentrasi 0% limbah cair	7,25 a	7,40 a
Konsentrasi 20% limbah cair	8,58 b	7,58 a
Konsentrasi 40% limbah cair	8,61 b	7,73 ab
Konsentrasi 60% limbah cair	8,81 b	7,88 ab
Konsentrasi 80% limbah cair	8,97 b	8,01 b
Konsentrasi 100% limbah cair	9,08 b	8,06 b

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu melalui proses fitoremediasi dengan kangkung, didapatkan perlakuan K0, K20, K40, dan K60 tidak berbeda nyata, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan K100 dan K80 (Tabel 12). Hal ini berarti kisaran nilai pH mulai dari kontrol sampai dengan perlakuan limbah cair tahu pada tingkat konsentrasi 60% yaitu 7,40 – 7,88 masih dalam kondisi netral, sedangkan pada perlakuan limbah cair dengan konsentrasi 80% dan 100% yang berkisar 8,01 – 8,06 sudah dalam kondisi alkalis atau basah. Nilai pH pada perlakuan berbagai limbah cair tahu baik tanpa kangkung maupun melalui proses fitoremediasi dengan kangkung masih mendukung berlangsungnya proses penguraian bahan organik, oksidasi senyawa-senyawa organik, proses fotosintesis dan nitrifikasi. Menurut Taufik (1988), proses nitrifikasi dapat berlangsung dengan cepat pada kisaran pH 7 – 8. Pada pH 7 atau kurang sebagian besar amoniak mengalami ionisasi, sebaliknya pada pH lebih besar dari 7, amoniak berada dalam jumlah yang lebih banyak (Effendi, 2003). Menurut Paarsivirta (1991) bahwa kandungan nitrit dipengaruhi oleh pH, kandungan nitrit cenderung menurun bila pH alkalis atau basa. Berdasarkan Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 45 Tahun 2002 bahwa nilai pH yang memenuhi persyaratan sebagai baku mutu limbah cair industri tahu berkisar 6 – 9.

3. Pengaruh Berbagai Limbah Cair Tahu Terhadap Klorofil, Jumlah Daun, Tanaman, Berat Basah dan Berat Kering Tanaman Kangkung Air

Hasil analisis rata-rata nilai klorofil, jumlah daun, tinggi tanaman, berat basah dan berat kering tanaman kangkung air pada konsentrasi berbagai limbah cair tahu setelah fitoremediasi sebagai berikut:

3.1. Klorofil

3.1.1. Klorofil *a*

Kandungan klorofil *a* ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) kangkung pada awal penelitian yaitu 12,55 mg/L, tetapi setelah 28 hari penelitian, klorofil *a* pada perlakuan tanpa limbah cair tahu (K0) meningkat menjadi 13,5 mg/L, demikian pula pada perlakuan 20% limbah cair tahu dan 80% air tawar (K20) terlihat bahwa klorofil *a* juga mengalami peningkatan menjadi 17,7 mg/L, sedangkan pada perlakuan K100, K80, K60 dan K40 kandungan klorofil *a* mengalami penurunan dengan nilai mencapai 4,26 – 7,23 mg/L (Tabel 13).

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap rata-rata klorofil *a* menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) (Lampiran Tabel 22).

Tabel 13. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai Klorofil *a*

Perlakuan	Rata-rata nilai klorofil <i>a</i> mg/kg
Awal penelitian	12,55 c
Konsentrasi 0% limbah cair (K0)	13,55 c
Konsentrasi 20% limbah cair (K20)	17,70 d
Konsentrasi 40% limbah cair (K40)	7,23 b
Konsentrasi 60% limbah cair (K60)	5,63 ab
Konsentrasi 80% limbah cair (K80)	4,43 a
Konsentrasi 100% limbah cair (K100)	4,26 a

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Rata-rata hasil analisis pada awal penelitian adalah 12,55 mg/L sedangkan 28 hari setelah tanam pada kontrol (K0) dan K20 terjadi peningkatan klorofil *a*

dibandingkan pada awal penelitian, tetapi pada perlakuan K100, K80, K60 dan K40 mengalami penurunan dan terlihat berbeda nyata (Tabel 13).

3.1.2. Klorofil *b*

Kandungan klorofil *b* ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) kangkung pada awal penelitian yaitu 12,32 mg/L, namun setelah 28 hari penelitian menunjukkan bahwa pada perlakuan tanpa limbah cair tahu (K0) terjadi peningkatan menjadi 13,34 mg/L, demikian pula pada perlakuan 20% limbah cair tahu dan 80% air tawar (K20) terlihat bahwa klorofil *b* juga meningkat menjadi 16,91 mg/L, sedangkan pada perlakuan K100, K80, K60 dan K40 kandungan klorofil *b* mengalami penurunan dan kandungannya mencapai 3,95 – 7,01 mg/L (Tabel 14).

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap rata-rata klorofil *b* menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) (Lampiran Tabel 23).

Tabel 14. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai Klorofil *b*

Perlakuan	Rata-rata nilai klorofil <i>b</i> mg/kg
Awal penelitian	12,12 c
Konsentrasi 0% limbah cair (K0)	13,34 c
Konsentrasi 20% limbah cair (K20)	16,91 d
Konsentrasi 40% limbah cair (K40)	7,01 b
Konsentrasi 60% limbah cair (K60)	5,31 ab
Konsentrasi 80% limbah cair (K80)	4,43 a
Konsentrasi 100% limbah cair (K100)	3,95 a

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Rata-rata hasil analisis pada awal penelitian adalah 12,12 mg/L sedangkan 28 hari setelah tanam pada kontrol (K0) adalah 13,34 mg/L dan K20 sebesar 16,91 mg/L sehingga terjadi peningkatan klorofil *b* dibandingkan pada awal penelitian, tetapi pada perlakuan K100, K80, K60 dan K40 mengalami penurunan dan terlihat berbeda nyata (Tabel 14).

3.1.3. Klorofil Total

Kandungan klorofil total kangkung pada awal penelitian yaitu 24,98 mg/L, setelah 28 hari penelitian menunjukkan bahwa pada perlakuan tanpa limbah cair tahu (K0) terjadi peningkatan menjadi 26,99 mg/L, demikian pula pada perlakuan dengan 20% limbah cair tahu dan 80% air terlihat bahwa klorofil total juga mengalami peningkatan menjadi 34,80 mg/L, sedangkan pada perlakuan K100, K80, K60 dan K40 kandungan klorofil total mengalami penurunan dan nilainya mencapai 8,41 – 14,41 mg (Tabel 15).

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap rata-rata klorofil total menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) (Lampiran Tabel 24).

Tabel 15. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Nilai Klorofil Total

Perlakuan	Rata-rata nilai klorofil total mg/kg
Awal penelitian	24,98 c
Konsentrasi 0% limbah cair (K0)	26,99 c
Konsentrasi 20% limbah cair (K20)	34,80 d
Konsentrasi 40% limbah cair (K40)	14,41 b
Konsentrasi 60% limbah cair (K60)	11,07 ab
Konsentrasi 80% limbah cair (K80)	9,02 a
Konsentrasi 100% limbah cair (K100)	8,41 a

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Rata-rata hasil analisis pada awal penelitian adalah 24,98 mg/L sedangkan 28 hari setelah tanam pada kontrol (K0) adalah 26,99 mg/L dan K20 yaitu 34,80 mg/L menunjukkan terjadinya peningkatan klorofil total dibandingkan pada awal penelitian, tetapi pada perlakuan K100, K80, K60 dan K40 mengalami penurunan dan terlihat berbeda nyata (Tabel 15).

Penurunan klorofil *a*, klorofil *b* dan klorofil total menurut Rahmadiyah (2000) dalam Theresia (2004), karena kangkung sebagai bahan remediator tidak mampu menyerap toksin yang ada di dalam air sehingga terjadi penurunan dalam pembentukan klorofil. Menurut Salesburry dan Ross (1991) dalam Theresia (2004), bahwa semua limbah yang terserap oleh tanaman akan ditranslokasikan ke

bagian pucuk tanaman. Rusaknya klorofil kangkung air tersebut ditandai dengan perubahan warna daun yang semula hijau menjadi kuning kecoklatan. Menurut Rahayu *et al.* (2005), kandungan klorofil pada daun tua kangkung air sebesar 47.9 spad/6 mm² sedangkan daun yang muda kandungan klorofilnya sebesar 35.44 spad/6 mm². Sehingga konsentrasi limbah cair yang tinggi dapat menurunkan kandungan klorofil khususnya pada daun yang masih muda. Oleh karena itu pada tanaman aquatik yang hidup pada perairan yang pencemarannya cukup tinggi, maka kerusakan klorofil akan jelas terlihat pada bagian daun yang masih muda. Kerusakan yang lebih parah akibat terjadinya pencemaran, helai daun terlihat seperti terbakar dan selanjutnya daun akan layu, kering dan akhirnya mati.

3.2. Jumlah Daun

Dari hasil pengamatan pada kontrol tanpa limbah cair tahu menunjukkan bahwa semakin bertambah umur tanaman, maka semakin meningkat jumlah daunnya. Pada awal pengamatan, rata-rata jumlah daun mencapai 118,33 lembar, tetapi pada 7 hari setelah tanam (hst) rata-rata jumlah daun menurun hingga 53 lembar, peningkatan rata-rata jumlah daun terjadi lagi pada 14 hst yaitu 93,67 lembar, sedangkan pada 21 dan 28 hst rata-rata jumlah daunnya masing-masing telah mencapai 140 dan 204 lembar. Hal ini disebabkan karena tanaman telah mampu beradaptasi pada lingkungan perairan tersebut yang didukung dengan kondisi kualitas air yang baik dan mengalami pertumbuhan terutama pada daun bagian pucuk. Berbeda halnya dengan kontrol (K0), dimana perlakuan K100, K80, K60, dan K40 pada 7 hst, rata-rata jumlah daunnya menurun secara cepat dan mengalami kematian pada 14 hst. Hal ini disebabkan karena kangkung sulit untuk beradaptasi pada kondisi air tercemar sehingga tidak dapat tumbuh dengan baik akibat tingginya bahan pencemar yang diserap tanaman. Namun pada perlakuan air tawar 80% dan limbah cair tahu 20% (K20), pada awal pengamatan rata-rata jumlah daun mencapai 126,33 lembar, tetapi pada 7 hst rata-rata jumlah daun menurun hingga mencapai 83,33 lembar, tetapi setelah 14 hst jumlah daun mengalami peningkatan lagi mencapai 138,67, sedangkan pada 21 hst terdapat 218,67 lembar dan pada 28 hst rata-rata jumlah daunnya mencapai 327,33 lembar.

Hal ini karena kualitas air pada lingkungan perairan tersebut telah meningkat sehingga kangkung air mampu beradaptasi dan tumbuh dengan baik. Untuk rata-rata jumlah daun pada perlakuan K20 setelah 28 hari penelitian lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Hal ini terjadi karena kandungan limbah cair tahu dengan tingkat konsentrasi yang kecil (20%) merupakan sumber nutrisi bagi tanaman sehingga memacu pertumbuhan daun (Tabel 16).

Tabel 16. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Jumlah Daun

Perlakuan	0 HST	7 HST	14 HST	21 HST	28 HST
Konsentrasi 0% limbah cair (K0)	118,33 ns	59,00 c	93,67 b	140,00 b	204,00 b
Konsentrasi 20% limbah cair (K20)	126,33 ns	83,33 d	138,67 c	218,67 c	327,33 c
Konsentrasi 40% limbah cair (K40)	124,00 ns	21,67 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Konsentrasi 60% limbah cair (K60)	122,00 ns	14,00 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Konsentrasi 80% limbah cair (K80)	132,33 ns	8,67 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Konsentrasi 100% limbah cair (K100)	127,67 ns	3,67 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap rata-rata jumlah daun pada 0 hst tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P > 0,05$) (Lampiran Tabel 25).

Rata-rata jumlah daun pada kontrol (K0) di awal penelitian adalah 118,33 lembar, sedangkan pada 28 hst meningkat menjadi 204 lembar sedangkan pada perlakuan K20 di awal penelitian (0 hst) rata-rata jumlah daun adalah 126,33 lembar, sedangkan pada 28 hst mengalami peningkatan hingga mencapai 327,33 lembar, tetapi pada perlakuan K100, K80, K60 dan K40 rata-rata jumlah daun mengalami penurunan dan terlihat berbeda nyata dengan perlakuan K20 dan K0 (Tabel 16 dan Lampiran Tabel 26-29).

3.3. Tinggi Tanaman

Dari hasil pengamatan, rata-rata tinggi tanaman pada kontrol tanpa limbah cair tahu (K0) di awal penelitian mencapai 6,33 cm, kemudian pada 7 hst rata-rata tinggi tanaman mengalami penurunan menjadi 5 cm dan pada 14 hst terjadi peningkatan kembali hingga mencapai 7,33 cm. Hal ini disebabkan karena

tanaman telah mampu beradaptasi pada lingkungan yang baru dengan kondisi kualitas air yang baik. Sedangkan pada perlakuan K100, K80, K60 dan K40 di awal penelitian diperoleh rata-rata tinggi tanaman antara 5,33 – 6,33 cm, kemudian pada 7 hst rata-rata tinggi tanaman menurun secara cepat dimana hanya mencapai 1 cm dan pada 14 hst kangkung sudah mengalami kematian. Hal ini terjadi karena daya tahan tanaman yang rendah sebagai akibat tingginya bahan pencemar yang diserap akar sehingga tanaman tidak dapat lagi tumbuh dan akhirnya mati. Berbeda dengan perlakuan K20 dimana pada awal penelitian rata-rata tinggi tanaman mencapai 6,33 cm, tetapi pada 7 hst rata-rata tinggi tanaman menurun menjadi 4,33 cm, sedangkan pada 14 hst mengalami peningkatan lagi hingga mencapai 7,67 cm. Hal ini disebabkan karena tingkat konsentrasi limbah cair tahu yang sangat kecil dengan pengenceran yang tinggi sehingga bahan pencemar tidak menjadi toksik bagi tanaman namun menjadi sumber makanan yang sangat berperan dalam proses pertumbuhan tanaman (Tabel 17).

Hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap tinggi tanaman pada 0 hst tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P > 0,05$) (Lampiran Tabel 30).

Tabel 17. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Tinggi Tanaman

Perlakuan	0 HST	7 HST	14 HST	21 HST	28 HST
Konsentrasi 0% limbah cair (K0)	6,33 ns	5,00 b	7,33 b	10,00 b	12,33 b
Konsentrasi 20% limbah cair (K20)	6,33 ns	4,33 b	7,67 b	10,67 b	14,33 b
Konsentrasi 40% limbah cair (K40)	5,57 ns	1,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Konsentrasi 60% limbah cair (K60)	6,33 ns	1,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Konsentrasi 80% limbah cair (K80)	5,53 ns	1,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Konsentrasi 100% limbah cair (K100)	5,57 ns	1,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Rata-rata tinggi tanaman pada kontrol (K0) di awal penelitian adalah 6,33 cm, sedangkan pada 28 hst meningkat menjadi 12,33 cm tetapi pada perlakuan K20 di awal penelitian (0 hst), rata-rata tinggi tanaman adalah 6,33 cm, sedangkan pada 28 hst mengalami peningkatan sebesar 14,33 cm. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa rata-rata tinggi tanaman pada perlakuan K20 lebih tinggi

daripada kontrol. Tetapi pada perlakuan K100, K80, K60 dan K40 terjadi penurunan rata-rata tinggi tanaman dan terlihat berbeda nyata dengan perlakuan K20 dan K0 (Tabel 17 dan Lampiran Tabel 31-34).

3.4. Berat Basah Tanaman

Berat basah tanaman pada awal penelitian adalah 300 g / bak, tetapi setelah fitoremediasi selama 28 hari mengalami penurunan kecuali pada K0 dan K20. Pada K0 berat basah tanaman meningkat hingga 434,45 g dan berat basah tanaman pada perlakuan K20 peningkatannya lebih tinggi dari pada kontrol (K0) yang mencapai 525,07 g. Hal ini disebabkan karena tingkat pertumbuhan tanaman yang sangat tinggi terutama pada bagian-bagian tanaman seperti batang dan daun sebagai akibat penyerapan nutrisi oleh akar tanaman yang dapat meningkatkan berat basah tanaman. Pada perlakuan K100, K80, K60 dan K40 terjadi penurunan berat basah tanaman masing-masing 117,55 g - 128,17 g (Tabel 18). Hal ini terjadi karena tingginya bahan pencemar yang menyebabkan tanaman tidak mampu tumbuh bahkan bagian batang dan daun menjadi layu dan kering dan mengalami kematian, sehingga didapatkan berat basah tanaman yang lebih kecil.

Berdasarkan hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap berat basah tanaman pada 0 hst tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P > 0,05$) (Lampiran Tabel 35).

Tabel 18. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Berat Basah Tanaman

Perlakuan	Rata-rata berat basah tanaman (g/bak)	
	0 hst	28 hst
Konsentrasi 0% limbah cair (K0)	300 ns	434,45 b
Konsentrasi 20% limbah cair (K20)	300 ns	525,07 b
Konsentrasi 40% limbah cair (K40)	300 ns	128,17 a
Konsentrasi 60% limbah cair (K60)	300 ns	121,78 a
Konsentrasi 80% limbah cair (K80)	300 ns	117,55 a
Konsentrasi 100% limbah cair (K100)	300 ns	118,56 a

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

Rata-rata berat basah tanaman pada kontrol (K0) di awal penelitian adalah 300 g, sedangkan pada 28 hst meningkat menjadi 434,45 g dan pada perlakuan

K20 di awal penelitian (0 hst) adalah 300 g, sedangkan pada 28 hst terjadi peningkatan berat basah tanaman sebesar 525,07 g. Pada perlakuan K100, K80, K60 dan K40 mengalami penurunan berat basah tanaman dan terlihat berbeda nyata dengan perlakuan K20 dan K0 (Tabel 18 dan Lampiran Tabel 35).

3.5. Berat Kering Tanaman

Berat kering tanaman pada K0 setelah fitoremediasi selama 28 hari adalah 57,28 g sedangkan berat kering pada perlakuan K20 adalah 73 g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa berat kering K20 lebih tinggi dibandingkan pada kontrol (K0). Untuk perlakuan K100 berat keringnya hanya mencapai 13,71 g. Berat kering perlakuan K80 dan K60 masing-masing 13,82 g dan 14,68 g serta K40 dengan berat kering mencapai 17,92 g (Tabel 19). Sehingga menunjukkan bahwa semakin pekat tingkat konsentrasi limbah cair tahu, berat kering yang diperoleh semakin kecil, hal ini karena tanaman tidak dapat tumbuh pada konsentrasi limbah cair tahu yang tinggi sebagai akibat buruknya kualitas air.

Tabel 19. Pengaruh Perlakuan Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu terhadap Rata-rata Berat Kering Tanaman

Perlakuan	Rata-rata berat kering tanaman g/bak
Konsentrasi 0% limbah cair (K0)	57,28 b
Konsentrasi 20% limbah cair (K20)	73,00 c
Konsentrasi 40% limbah cair (K40)	17,92 a
Konsentrasi 60% limbah cair (K60)	14,68 a
Konsentrasi 80% limbah cair (K80)	13,82 a
Konsentrasi 100% limbah cair (K100)	13,71 a

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti dengan huruf yang sama, tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji DMRT

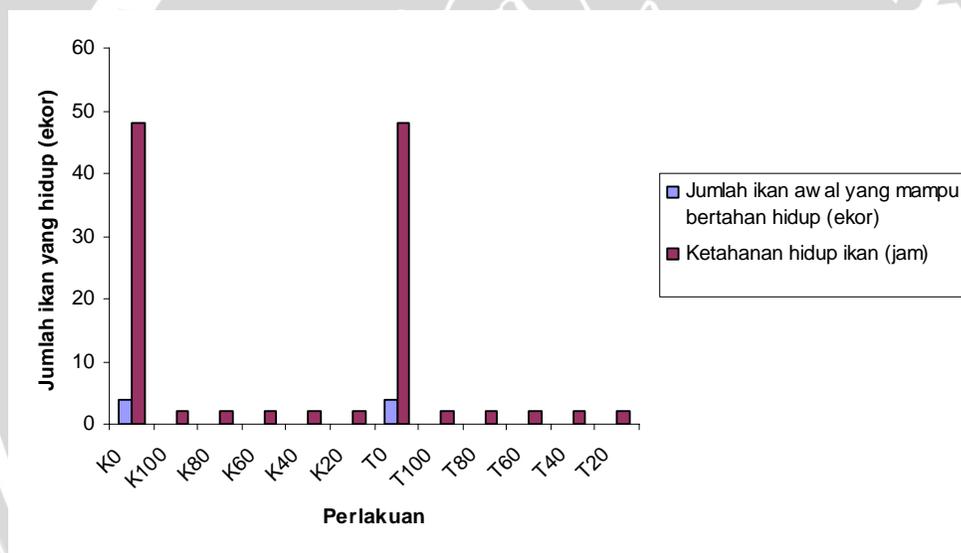
Berdasarkan hasil analisis ragam pengaruh perlakuan berbagai konsentrasi limbah cair tahu terhadap berat kering tanaman setelah fitoremediasi selama 28 hari diketahui bahwa pada perlakuan K100, K80, K60 dan K40 terlihat berbeda nyata dengan perlakuan K20 dan K0 (Tabel 19 dan Lampiran Tabel 36).

4. Ketahanan Hidup Ikan Nila Terhadap Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu Setelah Fitoremediasi dengan Tanaman Kangkung Air

Ketahanan hidup ikan nila terhadap berbagai konsentrasi limbah cair tahu setelah fitoremediasi dengan tanaman kangkung dapat disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6 sebagai berikut:

4.1. Jumlah Ikan yang Hidup

Hasil pengamatan rata-rata jumlah ikan nila yang hidup pada awal penelitian tanpa kangkung dan dengan kangkung, didapatkan hanya pada perlakuan kontrol (0% limbah cair tahu dan 100% air tawar) sebanyak 4 ekor (Gambar 5).

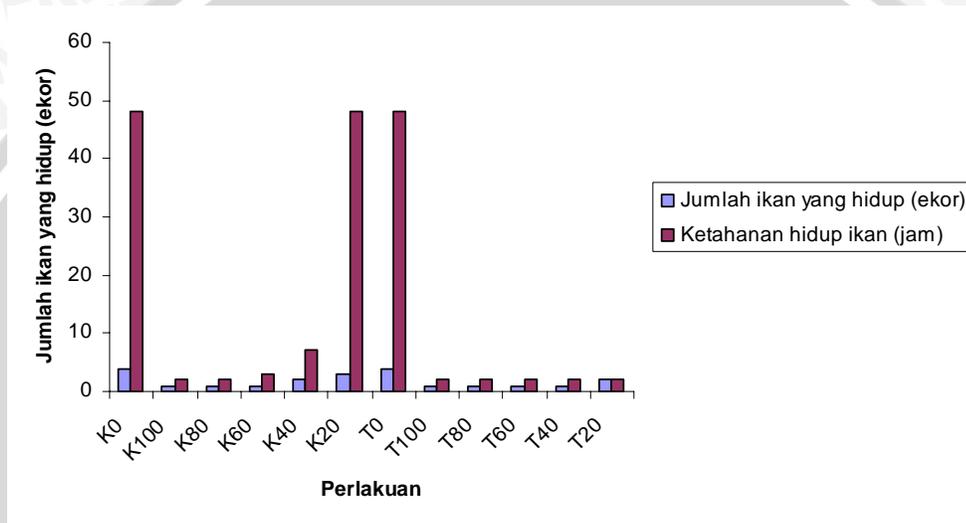


Gambar 5. Ketahanan Hidup Ikan Nila pada Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu Selama Kurun Waktu (jam) Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung pada Awal Penelitian

Pada perlakuan yang lain seperti pada perlakuan 20% limbah cair tahu dan 80% air tawar, perlakuan 40% limbah cair tahu dan 60% air tawar, perlakuan 60% limbah cair tahu dan 40% air tawar, perlakuan 80% limbah cair tahu dan 20% air tawar, dan juga pada perlakuan 100% limbah cair tahu dan 0% air tawar, ikan nila hanya mampu bertahan hidup sampai 2 jam (Gambar 5). Menunjukkan bahwa

badan air yang terkontaminasi dengan berbagai konsentrasi limbah cair tahu dapat mematikan ikan nila.

Hasil pengamatan ketahanan hidup ikan nila pada setiap perlakuan perbedaan limbah cair tahu tanpa fitoremediasi dengan kangkung setelah akhir penelitian (hari ke-28) didapatkan semua ikan juga mati kecuali pada kontrol (Gambar 6).



Gambar 6. Ketahanan Hidup Ikan Nila pada Berbagai Konsentrasi Limbah Cair Tahu Selama Kurun Waktu (jam) Tanpa Kangkung dan dengan Kangkung pada Akhir Penelitian (Hari ke-28)

Hasil pengamatan rata-rata jumlah ikan nila yang bertahan hidup pada setiap perlakuan perbedaan limbah cair tahu selama kurun waktu (jam) setelah proses fitoremediasi dengan kangkung (hari ke-28), didapatkan ikan nila yang tetap hidup semuanya yaitu pada perlakuan kontrol (0% limbah cair tahu dan 100% air tawar dengan kangkung) sebanyak 4 ekor, ikan nila yang mampu bertahan hidup atau beradaptasi sampai 48 jam yaitu pada perlakuan 20% limbah cair tahu dan 80% air tawar dengan kangkung (K20) sebanyak 3 ekor dan setelah beradaptasi ikan tersebut tetap hidup, ikan nila yang mampu bertahan hidup sampai 7 jam yaitu pada perlakuan 40% limbah cair tahu dan 60% air tawar dengan kangkung (K40) sebanyak 2 ekor dan setelah beradaptasi ikan tersebut mati semua, ikan nila yang mampu bertahan hidup sampai 3 jam yaitu pada perlakuan 60% limbah cair tahu dan 40% air tawar dengan kangkung (K60)

sebanyak 1 ekor dan setelah beradaptasi ikan tersebut mati, sedangkan pada perlakuan 80% limbah cair tahu dan 20% air tawar dengan kangkung (K80) dan pada perlakuan 100% limbah cair tahu dan 0% air tawar dengan kangkung (K100) ikan nila hanya bisa bertahan hidup sampai 2 jam (Gambar 6).

Perairan yang terkontaminasi limbah cair tahu dengan konsentrasi yang semakin pekat, dapat mematikan ikan nila dalam waktu yang relatif singkat. Setelah dilakukan fitoremediasi dengan kangkung selama 28 hari, ikan yang mampu bertahan hidup (beradaptasi) sampai 48 jam yaitu sebanyak 3 ekor, hanya pada perlakuan 20% limbah dan 80% air tawar dengan kangkung (K20), dan setelah beradaptasi ikan tersebut tetap hidup. Pada saat ikan dilakukan adaptasi dalam perairan yang terkontaminasi dengan limbah, kandungan oksigen memegang peranan yang sangat penting dalam ketahanan hidup ikan terhadap air limbah tersebut. Hal ini terlihat pada perlakuan limbah cair tahu dengan konsentrasi 20%, saat ikan dilakukan adaptasi, kandungan oksigen dalam air masih tinggi yaitu 4,81 mg/L daripada perlakuan yang lain. Menurut Mayunar *et al.* (1995), di dalam perairan yang tidak tercemar, ikan untuk sekedar bertahan hidup memerlukan oksigen terlarut minimal 2 mg/L, sedangkan untuk dapat tumbuh dan berkembang minimal 3 mg/L. Selanjutnya bagi kepentingan kegiatan budidaya ikan, kandungan oksigen terlarut yang optimal berkisar 5 – 8 mg/L (Ahmad *et al.*, 1991).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

1. Kangkung air mampu meremediasi limbah cair pabrik tahu secara maksimal selama 28 hari pada konsentrasi 20% limbah cair tahu dan 80% air tawar.
2. Kangkung air pada konsentrasi 20% limbah cair tahu dan 80% air tawar paling efektif untuk menekan tingkat pencemaran limbah cair tahu karena mampu menurunkan rata-rata nilai BOD, COD, TSS, dan pH masing-masing sampai dengan 120,65 mg/L (88,42%), 291,61 mg/L (79,40%), 100,62 mg/L (33,28%), dan pH 7,58.
3. Selain pada kontrol, ikan nila yang dicobakan pada perlakuan 20% limbah cair tahu dan 80% air tawar mampu bertahan hidup sampai 48 jam dan setelah beradaptasi ikan tersebut tetap hidup.

2. Saran

1. Untuk penelitian berikutnya diharapkan menggunakan perlakuan dengan tingkat konsentrasi limbah cair tahu yang lebih kecil misalnya 5%, 10%, 15%, 20% dan 25 % limbah.
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan aerasi misalnya penyediaan alat bantu penyuplai oksigen untuk menunjang kehidupan tanaman dan ikan air tawar.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, F., Sudjianto, Nurhayatinah, W., dan Sugiarto, D. 2002. Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu-Tempe Sistem Anaerob-Up Flow Filter Menggunakan Media Plastik (PVC). Puslitbang Sumber Daya Air Bandung, p. 197-208
- Ahmad, T., Imanto, P.T., Muchari, Basyarie, A., Sunyoto, P., Slamet, B., Mayunar, Purba, R., Diana, S., Redjeki, S., Pranowo, S.A., dan Murtiningsih, S. 1991. Operasional Pembesaran Ikan Kerapu Dalam Keramba Jaring Apung. Balai Penelitian Perikanan Budidaya Pantai, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan, Departemen Pertanian, Jakarta 59 h.
- Anonymous. 2003. Fitoremediasi: Upaya Mengolah Air Limbah dengan Media Tanaman. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. Jakarta.
- Anonymous. 2004. Phytoremediation. <http://lftl.bppt.tripod.com/sublab/flora>.
- APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20 th Edition 1998. Lenore S., Clesceri, Arnold E., Greenberg, and Andrew D.E. (Eds.). American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, Washington DC, p. 254-255.
- Arniati. 2007. Pengolahan Air Limbah Organik Buangan Tambak Udang Windu Sistem Intensif Secara Biologis. "Torani". Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan, Edisi Maret 2007, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar, 17(1):17-23.
- Asdak, C. 2004. Kualitas Air dan Kematian Massal Ikan. Lembaga Penelitian UNPAD. Bandung.
- Brown, K.S. 1995. The green clean: The Emerging Field of Phytoremediation Takes Root. Bioscience, 9:579-582.
- Chaney, R.L. 1995. Potential Use of Metal Hyperaccumulators. Mining. Environ. Manag., 3:9-11.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Penerbit Kanisius, Yogyakarta, 258 h.

- Guntenspergen, G.R., Streat, F., and Kadlec, J.A. 1989. Wetland Vegetation. *In* Hammer, D.A. (Ed.). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Municipal, Industrial and Agricultural*. Lewis Publishers, Michigan, p. 73-88.
- Hammer, D.A., and Bastian, R.K. 1989. Wetlands Ecosystems: Natural Water Purifiers. *In* Hammer, D.A. (Ed.). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Municipal Industrial and Agricultural*, Lewis Publishers, Michigan, p. 5-10.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tanaman Hiperakumulator. *Jurnal Biosains "Hayati"* Edisi Maret 2005, Perhimpunan Biologi Indonesia dan Departemen Biologi FMIPA Institut Pertanian Bogor (IPB) Bogor, 1(12):35-40.
- [Http://id.wikipedia.org/wiki/Eutrofikasi](http://id.wikipedia.org/wiki/Eutrofikasi) (diakses tanggal 24 November 2007)
- [Http://id.wikipedia.org/wiki/Limbah](http://id.wikipedia.org/wiki/Limbah) (diakses tanggal 12 Januari 2007)
- [Http://warintek.progressio.or.id/pertanian/kangkung.htm](http://warintek.progressio.or.id/pertanian/kangkung.htm) (diakses tanggal 27 Januari 2007)
- [Http://www.ict4pr.org/files/warintek/TeknologiTepatGuna/budidayaperikanan/pemd/nila.pdf](http://www.ict4pr.org/files/warintek/TeknologiTepatGuna/budidayaperikanan/pemd/nila.pdf) (diakses tanggal 23 Januari 2007)
- [Http://www.menlh.go.id/usaha-kecil/tahu.htm](http://www.menlh.go.id/usaha-kecil/tahu.htm) (diakses tanggal 19 Januari 2007)
- [Http://www.senior.co.id/kesehatan/news/senior/gizi/0307/04/gizi.htm](http://www.senior.co.id/kesehatan/news/senior/gizi/0307/04/gizi.htm) (diakses tanggal 5 Februari 2007)
- ITRC. 2001. *Technical and Regulatory Guidance Document, Phytotechnology*. Interstate Technology Regulatory Council USA.
- Mangkoedihardjo, S. 2002. Waterhyacinth Leaves Indicate Wastewater Quality. *Jurnal Biosains "Hayati"* Edisi Juni 2002, Perhimpunan Biologi Indonesia dan Departemen Biologi FMIPA Institut Pertanian Bogor (IPB) Bogor, 7(1):10-13.
- Mayunar, Purba, R., dan Imanto, P.T. 1995. Pemilihan Lokasi Untuk Usaha Budidaya Ikan Laut. Hal. 179-189. *Dalam* Sudradjat, A., W. Ismail, W., Priono, B., Murniyati, dan Pratiwi, E. (Eds.). *Prosiding Temu Usaha Pemasarakatan Teknologi Keramba Jaring Apung bagi Budidaya Laut*, Jakarta, 12-13 April 1995.

- Monoarfa, W. 2002. Dampak Pembangunan Bagi Kualitas Air di Kawasan Pesisir Pantai Losari, Makassar. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* Edisi Desember 2002, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Jakarta, 3(3):37-44.
- Paarsivirta, J. 1991. *Chemical Ecotoxicology*. Lewis Publisher, Boca Raton, 21 pp.
- Pescod, M.D. 1973. *Investigation of Rational Effluen and Stream Standards for Tropical Countries*. A.I.T. Bangkok, 59 pp.
- Priyanto, B., dan Prayitno, J. 2004. Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam berat. URL:<http://www.tl.bppt.com/sublab/lfloral.htm> (diakses tanggal 10 November 2006)
- Rahayu, P., dan Limantara, L. 2005. Studi Lapangan Kandungan Klorofil In Vivo Beberapa Spesies Tanaman Hijau di Salatiga dan Sekitarnya. FMIPA Universitas Indonesia Depok.
- Rahmadiyah, B. 2000. Efek Logam Berat Kromium Dari Limbah Anorganik-LIPI Bandung Terhadap Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dan Kayambang (*Salvinia molesta*). Fakultas Biologi Unsoed. Purwokerto.
- Rismana, E. 2001. Fitoremediasi Teknologi Pengolah Limbah Alternatif. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* Edisi Juli 2001, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Jakarta, 2(3):34-37.
- Rubianto, 2000. Mikroalga *Chlorella Sp* Dapat Menormalkan Limbah Tahu. Pusat Data dan Informasi Perhimpunan Rumah Sakit Seluruh Indonesia. Jakarta.
- Salesburry, F.B., and Ross, C.W. 1991. *Plant Physiology*. Wadworth Publishing Belmont. California.
- Salmin. 2002. Kadar Oksigen Terlarut di Perairan Sungai Dadap, Goba, Muara Karang dan Teluk Banten. *Dalam Praseno et al. (Eds.)*. Prosiding Foraminifera Sebagai Bioindikator Pencemaran. P3O-LIPI Jakarta, hal. 42-46.
- Salmin. 2005. Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Jurnal "Oseana"*. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI Jakarta, Vol.XXX, No. 3:21-26.

- Salt, D.E. 2000. Phytoextraction: Present Applications and Future Promise. *In* Wise D.L. *et al.* (Eds.). Proceeding Bioremedition of Contaminated Soils. New York. Marcek Dekker Inc., p. 729-743.
- Sastrawijaya, T. 2000. Pencemaran Lingkungan. Penerbit Rineka Cipta Jakarta, 175 pp.
- Shutes, R.B., Ellis, S.B., Revitt, D.M., and Zhang, T.T. 1993. The Use of *Thypha latifolia* for Heavy Metal Pollution Control in Urban Wetlands. *In* Moshiri, G.A. (Ed.). Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 533 pp.
- Sudibyaningsih, T. 2004. Gulma Air, *Eichornia crassipes* dan *Salvinia molesta* Sebagai Fitoremediator Logam Kadmium dan Krom Heksavalen Dalam Penanganan Limbah Cair. Majalah Ilmiah Biologi "Biosfera" A Scientific Journal Edisi Mei 2004, Universitas Jenderal Sudirman Purwokerto, 2(21):50-58.
- Surrency, D. 1993. Evaluation of Aquatic Plants for Constructed Wetlands. *In* Moshiri G.A. (Ed.). Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 533 pp.
- Taufik, A. 1988. Peubah Penting Mutu Air Tambak Udang. Seminar Udang Intensif, Jakarta, 65 h.
- Trisna, S.H., Suharto, B., dan Marsoedi. 2001. Penentuan Status Kualitas Perairan Sungai Brantas Hulu dengan Biomonitoring Makrobentos: Tinjauan Dari Pencemaran Bahan Organik. Jurnal Biosains "Hayati" Edisi April 2001, Perhimpunan Biologi Indonesia dan Departemen Biologi FMIPA Institut Pertanian Bogor (IPB) Bogor, 1(1):30-34.
- US EPA. 1999. Phytoremediation Resource Guide. Office of Solid Waste and Emergency Response Technology USA.
- US EPA. 2005. Use of Field-Scale Phytotechnology for Chlorinated Solvents, Metals, Explosives and Propellants, and Pesticides. Office of Solid Waste and Emergency Response Technology USA.
- Utojo, Rachmansyah, Pirzan, A.M., dan Pantjara, B. 2005. Evaluasi dan Pemetaan Sumberdaya Lahan Budidaya Tambak dan Laut di Kalimantan Selatan, Kalimantan Barat, dan Sulawesi Selatan. Laporan Hasil Penelitian Tahun 2005 (Un Publish). Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau, Maros, 58 h.
- Wardhana, W.A. 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan. Penerbit Andi Yogyakarta.

Wardoyo, S.T.H. 1978. Kriteria Kualitas Air Untuk Keperluan Pertanian dan Perikanan. *Dalam Anonymous (Ed.). Prosiding Seminar Pengendalian Pencemaran Air Jakarta*, Hal. 293-300.

Watson, J., Reed, S., Kadlec, R., Knight, R., and Whitehouse, A. 1989. Performance Expectations and Loading Rates for Constructed Wetlands. *In: Hammer, D. (Ed.). Constructed wetlands for wastewater treatment*. Lewis Publishers, Inc., Boca Raton, pp: 319-350.

Yunasfi. 2002. Pemanfaatan Limbah Cair Industri Untuk Sektor Kehutanan. Jurusan Ilmu Kehutanan, Fakultas Pertanian USU, Medan.

