

LEMBAR PENGESAHAN

**Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Industri Marmer dengan
Biota Uji Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) dan
Tumbuhan Anacharis (*Egeria densa*)**

TUGAS AKHIR

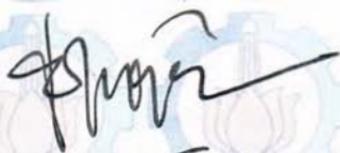
**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana
pada**

**Program S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

Oleh :

**NAREGA HERMANIAR
3310100014**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Biesty Voijsant Tangahu, ST, MT, Ph.D.

NIP. 197108181997032001

Surabaya, Agustus 2014



ABSTRAK

Nama Mahasiswa : Narega Hermaniar
NRP : 3310100014
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, Ph.D.

Kegiatan pertambangan marmer di Tulungagung , Jawa Timur semakin marak. Keberadaan industri ini selain memberi dampak positif bagi perekonomian, juga memberi dampak negatif bagi organisme akuatik.

Kandungan kapur dan potassium dalam limbah marmer dapat mempengaruhi kesehatan makhluk hidup. Semakin besar skala kegiatan pertambangan, makin besar pula dampak yang ditimbulkan. Studi ini dilakukan untuk menentukan besarnya toksisitas akut (LC_{50}) dan efek dari limbah marmer pada ikan dan tumbuhan air yang hidup di sungai.

Uji toksisitas ini dilakukan pada ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) dan tumbuhan anacharis (*Egeria densa*). Pengujian dilakukan secara statik di laboratorium untuk mencari *range finding toxicity*. Variasi tes I untuk ikan mujair dan tumbuhan anacharis adalah 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% volume toksikan. Variasi tes II bervariasi mulai dari 12% - 60% volume toksikan secara duplo. Dari tes II didapatkan kisaran untuk uji toksisitas akut untuk ikan mujair dan anacharis terhadap volume toksikan. Dengan perhitungan Litchfield – Wilcoxon, maka $LC_{50, 96jam}$ untuk ikan mujair dan anacharis dapat ditentukan.

Kata kunci : marmer, uji toksisitas akut, $LC_{50, 96jam}$, *Oreochromis mossambicus*, *Egeria densa*.

ABSTRACT

Student Name : Narega Hermaniar
Student ID : 3310100014
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, Ph.D.

Marble Mining activities have become very common in Tulungagung, East Java. These industrial existences are not only giving a positive implication for economy, but also presenting negative side for the ocean organism.

The composition of limestone and potassium in the marble waste can affect the wellness of human beings. The larger scale of mining activities, the greater impact will be posed. This study case is to determine the amount of toxicity (LC_{50}) and the effect of marble waste in fish and hydrophyte which is living in the river.

This toxicity experiment was carried out on Tilapia Fish (*Oreochromis Mossambicus*) and Anacharis Plant (*Egeria Densa*). The experimentation was conducted statically in the Laboratory searching for *range finding toxicity*. Variety Test I for Tilapia Fish and anacharis plant are 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100% based on the volume of toxicant. On the other hand, variety test II ranged from 12% to 60% by volume of toxicant in duple. According to test II, it is clearly shows the range of toxicity tests for Tilapia Fish and Anacharis Plant toward the volume of toxicant. Furthermore, by using the calculation of Litchfield - Wilcoxon, so that $LC_{50, 96}$ hours in Tilapia Fish and Anacharis Plant can be resolved.

Keywords : marble, acute toxicity tests, $LC_{50, 96\text{hours}}$, *Oreochromis mossambicus*, *Egeria densa*.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN.....	3
1.4 RUANG LINGKUP.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 MARMER.....	5
2.1.1 <i>Asal Marmer</i>	5
2.1.2 <i>Limbah Marmer</i>	5
2.2 EKOTOKSIKOLOGI.....	8
2.2.1 <i>Pengertian Ekotoksikologi</i>	8
2.2.2 <i>Uji Toksikan</i>	10
2.3 LETHAL CONCENTRATION (LC ₅₀)	13
2.4 BIOTA UJI	17
2.4.1 <i>Ikan Mujair (Oreochronis mossambicus)</i>	17
2.4.2 <i>Anacharis (Egeria densa)</i>	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 KERANGKA PENELITIAN	23
3.2 RINCIAN LANGKAH PENELITIAN	23
3.2.1 <i>Persiapan Penelitian</i>	23
3.2.2 <i>Analisa Pendahuluan</i>	26
3.2.3 <i>Prosedur Penelitian</i>	27
3.3 SKEMA RANGKAIAN PENELITIAN.....	31
3.4 PERHITUNGAN LC ₅₀ HASIL UJI TOKSISITAS	33
3.5 TEKNIK ANALISIS PARAMETER PENELITIAN	34

3.6	KESIMPULAN DAN SARAN	34
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	AKLIMATISASI	35
4.2	RANGE FINDING TEST	37
4.2.1	<i>Karakteristik Limbah</i>	37
4.2.2	<i>Hasil Penelitian dan Pembahasan</i>	40
4.3	ACUTE TOXICITY TEST	50
4.3.1	<i>Karakteristik Limbah</i>	50
4.3.2	<i>Hasil Penelitian dan Pembahasan</i>	54
4.4	PERHITUNGAN NILAI LC ₅₀ , 96 JAM.....	73
4.4.1	<i>LC₅₀ Tumbuhan Anacharis (Egeria densa)</i>	73
4.5	ZAT KIMIA DALAM TUBUH IKAN	77
BAB V KESIMPULAN		81
5.1	KESIMPULAN.....	81
5.2	SARAN	82
DAFTAR PUSTAKA.....		83
LAMPIRAN		88

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Marmer

2.1.1 Asal Marmer

Marmer atau *marble* merupakan batuan metamorf yang terbentuk karena perubahan tekanan dan suhu yang tinggi atau panas bumi. Kata “marmer” berasal dari bahasa Yunani (*marmairein*) yang berarti “berkilau”. Batu marmer terbentuk dari batuan *limestone* yang mengkristal selama jutaan tahun. Batu ini berwarna indah dengan corak yang beraneka ragam sehingga banyak digunakan dalam dunia arsitektur. Sebagai contoh, menara Parthenon yang dibangun pada tahun 447 – 432 SM terbuat dari marmer (Solehuddin, 2009).

Batuan marmer lebih cocok digunakan untuk interior karena tidak tahan terhadap cuaca. Batuan marmer banyak terdapat di Indonesia, tetapi baru sedikit yang dapat ditambang. Hal tersebut terjadi karena kendala infrastruktur yang belum memadai. Marmer-marmer asli Indonesia antara lain marmer Bandung, marmer Jawa Timur, marmer Magelang, marmer Lampung, marmer Padang, marmer Ujung Pandang, marmer Kalimantan, marmer Poso, dan marmer Kupang. Di Jawa Timur produsen utama marmer adalah Kabupaten Tulungagung (Solehuddin, 2009).

2.1.2 Limbah Marmer

Limbah marmer adalah limbah yang dihasilkan pada saat proses pengolahan batu marmer menjadi macam-macam bentuk kerajinan. Dalam proses pembuatan kerajinan itulah batu marmer yang semula berukuran besar dipotong menjadi berbagai ukuran menurut kebutuhan dengan menggunakan gergaji (Utami, 2010). Selama proses pemotongan, 25% massa marmer asli hilang menjadi debu (Karasahin and Terzi, 2007). Pada industri marmer terdapat enam tahap proses produksi secara berurutan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Proses Produksi Marmer

- Pemotongan blok : memotong blok marmer menjadi *slab*.
- Pemotongan *slab* : Lembaran *slab* yang besar ini kemudian dipotong pada bagian ujungnya agar rata.
- Kalibrasi : *Slab* dipotong dan diratakan pada salah satu permukaan sesuai ukuran yang diinginkan.
- Perataan : Untuk meratakan (menutup) permukaan yang masih mempunyai lubang-lubang kecil.
- Pemolesan : Untuk melicinkan permukaan setelah *slab* diratakan.
- Pemotongan ukuran kecil: Pemotongan marmer sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

Pada proses pemolesan ditambahkan bahan kimia yang mengandung asam potassium oksalat ($\text{KHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Sehingga limbah yang dihasilkan dari proses pemolesan marmer mengandung bahan beracun berupa garam oksalat.

Limbah marmer pada umumnya berupa serbuk berwarna putih kemerahan. Jika limbah marmer dicampur dengan air maka akan mengeras, karena berupa serbuk maka dapat berfungsi sebagai bahan pengikat. Hasil penelitian PT Sucofindo Jakarta tahun 2007, menyebutkan bahwa komposisi yang terkandung dalam limbah marmer adalah senyawa CaO dengan kadar 52,69%, CaCO_3 41,92%, MgO 0,84%, MgCO_3 1,76%, SiO_2 1,62%, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 0,37%. Kadar senyawa CaO dalam limbah marmer hampir sama dengan semen, yaitu 52,29% pada limbah marmer dan 60-67% pada semen (Utami, 2010).

Industri marmer dapat dikategorikan sebagai industri keramik, dan berpotensi untuk menghasilkan beberapa parameter dalam keluaran air limbah. Pemerintah Provinsi Jawa Timur telah mengeluarkan standar baku mutu air limbah industri keramik. Standar baku mutu ini diatur dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013, tentang baku mutu air limbah industri keramik. Tabel 2.1 merupakan rincian parameter dari peraturan tersebut.

Tabel 2. 1 Baku mutu air limbah industri keramik

Air limbah untuk Industri Keramik (Pergub. Jatim No. 72 Tahun 2013)	
Parameter	Kadar maksimum (mg/L)
TSS	100
Timbal (Pb)	1,0
Kobalt (Co)	0,6
Krom Total (Cr)	0,1
Kadmium (Cd)	0,1
Suhu	38 °C
BOD5	50
COD	100
pH	6,0-9,0

Sumber : Pergub. Jatim no. 72 Tahun 2013

Menurut batas yang ditentukan oleh hukum (GURI 1998), limbah marmer berupa lumpur yang terbuang dianalisis sebagai limbah industri yang berbahaya. Semua bahan bangunan termasuk marmer mengandung berbagai jumlah nuklida radioaktif alami. Bahan yang berasal dari batuan dan tanah mengandung radionuklida alam terutama uranium ^{238}U dan ^{232}Th serta kalium ^{40}K . Marmer menunjukkan konsentrasi unsur radionuklida alam sangat rendah dari unsur-unsur lain yang diamati dalam mantel dan kerak bumi (UNSCEAR, 2000).

2.2 Ekotoksikologi

2.2.1 Pengertian Ekotoksikologi

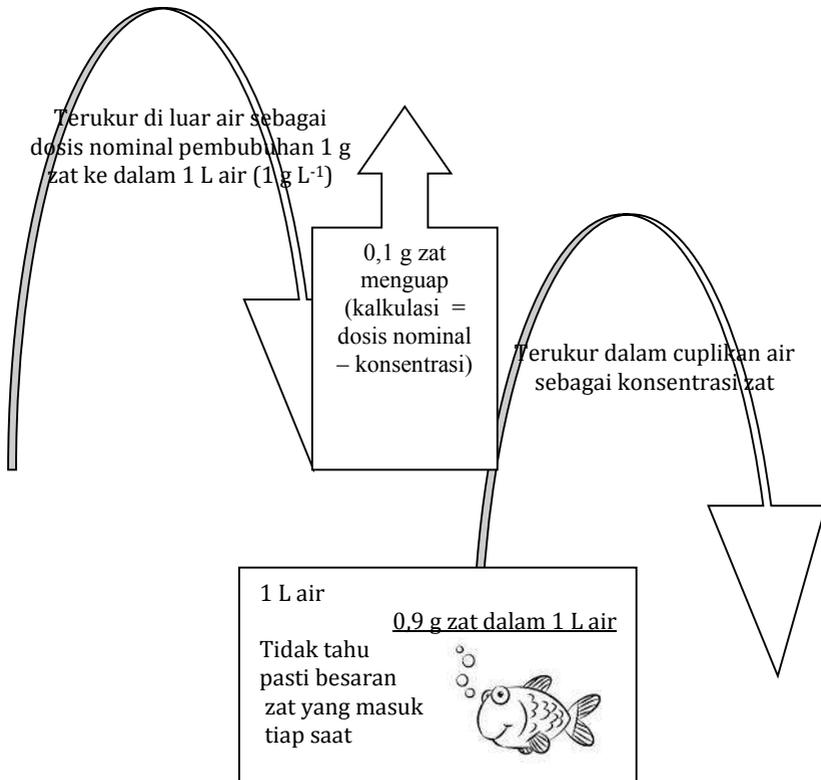
Ekologi adalah ilmu yang mempelajari hubungan antara makhluk hidup dan lingkungannya. Zat yang menghasilkan efek negatif bagi makhluk hidup disebut toksikan, meskipun zat itu adalah air kebutuhan hidup. Selain mempelajari dampak-dampak negatif yang ditimbulkan dari zat-zat terhadap organisme hidup, toksikologi juga mempelajari kemampuan dari zat-zat toksik itu sendiri terhadap biota uji. Jenis toksikan, konsentrasi toksikan, komposisi toksikan, dan lama pemaparan merupakan

beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kondisi dari biota uji (EPA, 2002). Jadi, ekotoksikologi adalah kajian efek negatif suatu zat terhadap ragam makhluk hidup dalam ekosistemnya.

Istilah ekotoksikologi pertama kali digunakan oleh Truhaut pada tahun 1969, yang berarti ilmu tentang pengaruh bahan pencemar terhadap organisme, sampai efek ekologi bahan pencemar. Uji toksisitas dilakukan pada satu atau lebih komponen ekosistem (Chairns, 1989). Toksisitas lingkungan adalah ilmu yang mempelajari racun kimia dan fisik yang dihasilkan dari suatu kegiatan dan menimbulkan pencemaran lingkungan.

Zat yang masuk dalam lingkungan menyebabkan efek negatif pada makhluk hidup tanpa perlu diketahui jumlah dan waktu paparan pada sistem biologis karena sulit diukur. Saat ini manusia belum bisa mengukur secara tepat jumlah zat yang masuk ke dalam sistem biologis setiap waktu. Tetapi manusia dapat menakar dosis nominal (takaran zat yang dibubuhkan ke dalam medium) dan mengukur konsentrasinya (takaran zat dalam medium). Konsentrasi zat dapat tidak sama dengan dosis nominal, jika sebagian zat mudah menguap dari mediumnya. Satuan takaran dosis nominal dan konsentrasi adalah sama, misalnya 1 g zat per L air, namun ada perbedaan (Gambar 2.2). Sehingga perlu pendekatan ukuran zat menggunakan dosis nominal dan secara umum digunakan satuan konsentrasi zat dalam lingkungan.

Menurut Mangkoedihardjo (2009), zat – zat yang berpotensi negatif dan terpapar dalam media udara, air, dan tanah sebagai kesatuan ekosistem yang berkontak dengan sistem biologis hewan, tumbuhan, dan mikroba dipelajari sebagai ekotoksikologi. Zat-zat dalam toksikan ini dapat berupa zat yang berdiri sendiri, maupun campuran dari berbagai macam zat-zat yang ada. Sifat dari paparan ini memberikan dampak negatif bagi biota-biota yang ada dengan merusak dan merubah struktur maupun fungsi dari biota itu sendiri, baik secara akut (jangka pendek), maupun secara kronis (jangka panjang).



Gambar 2. 2 Dosis nominal dan konsentrasi zat

Sumber : Mangkoedihardjo, 2009.

2.2.2 Uji Toksik

Toksitas adalah sifat relatif toksikan berkaitan dengan potensinya menyebabkan efek negatif bagi makhluk hidup. Organisme satu dengan yang lain akan berbeda reaksinya terhadap zat toksik yang sama, bahkan untuk organisme dengan jenis yang sama ada kemungkinan memberikan respon yang berbeda terhadap suatu toksik. Untuk mengetahui tingkat racun atau toksik suatu zat atau substansi kimia dilaksanakan uji toksitas (Makruf, 2003).

Pengujian dilakukan pada kondisi tertentu dan tetap yang dapat diulang secara konsisten, sehingga memungkinkan perbandingan antara toksikan yang diuji. Tingkat toksisitas dapat dipengaruhi oleh faktor – faktor sebagai berikut :

1. Berkaitan dengan toksikan itu sendiri, termasuk komposisi dan sifat fisik.
2. Berkaitan dengan pemaparan toksikan :
 - a. Jenis toksikan
 - b. Durasi pemaparan
 - c. Frekuensi pemaparan
 - d. Konsentrasi toksikan
3. Berkaitan dengan lingkungan
4. Berkaitan dengan biota

Pemaparan suatu toksikan pada biota dapat menghasilkan dua jenis efek yang berbeda, yaitu :

- Efek toksik akut
Efek ini terjadi sangat cepat sebagai hasil dari pemaparan dalam jangka pendek. Suatu zat dinilai sebagai toksik akut jika secara langsung membunuh 50% atau lebih populasi biota yang terpapar dalam waktu pendek yaitu sekitar 96 jam sampai 14 hari.
- Efek toksik kronis
Bisa terjadi karena zat menghasilkan efek merusak sebagai hasil pemaparan tunggal, tetapi lebih sering efek terjadi karena pemaparan berulang atau jangka panjang.

Efek toksik kronis meliputi efek *lethal* (kematian) dan efek subletal seperti gangguan pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, respon farmakinetik, patologi, biokimia, fisiologis, dan tingkah laku (Rand *et al.*, 1984).

Menurut APHA (2008), uji toksisitas sangat berguna untuk berbagai macam tujuan, antara lain untuk mengetahui :

1. Tingkat kecocokan kondisi lingkungan untuk biota akuatik.

2. Baik tidaknya faktor lingkungan akuatik (DO,pH, temperatur, salinitas, dan kekeruhan).
3. Efek faktor lingkungan dalam toksisitas limbah.
4. Toksisitas limbah terhadap biota uji.
5. Sensitivitas relatif dari organisme akuatik terhadap efluen atau toksikan.
6. Jumlah dan tipe pengolah limbah yang diperlukan untuk memperoleh kualitas limbah yang diinginkan.
7. Efektifitas sistem pengolah limbah.
8. Laju limbah yang diijinkan.
9. Pemantauan kualitas limbah, apakah telah sesuai dengan baku mutu yang diijinkan.

Uji toksisitas dapat diklasifikasikan sebagai berikut (APHA, 2008) :

- Jangka pendek
Waktu pemaparan biasanya 48 jam atau 96 jam. Digunakan untuk kegiatan pemantauan, dan memperkirakan *overall toxicity*. Pengamatan bisa berupa kematian atau pengamatan yang lain untuk menentukan efek toksikan.
- Jangka menengah
Sebenarnya tidak ada batasan yang nyata antara jangka pendek, menengah, dan panjang. Biasanya berkisar antara 11 - 90 hari. Digunakan untuk menentukan efek toksikan pada berbagai fase kehidupan organisme.
- Jangka panjang
Waktu pemaparannya meliputi tahap awal kehidupan, sebagian siklus hidup dan selama siklus hidup organisme uji. Berkisar antara tujuh (7) hari hingga berbulan – bulan. Uji toksisitas ini bermanfaat untuk menentukan rasio akut-kronis, efek pada pertumbuhan, reproduksi, ketahanan, dan pertumbuhan. Ketahanan yang ditentukan

meliputi tahapan kehidupan, perilaku, dan bioakumulasi dari biota uji.

Semua uji toksisitas memerlukan uji kontrol guna menjamin bahwa efek negatif yang ditimbulkan nyata hanya berkaitan dengan toksikan uji. Uji kontrol dapat dibedakan menjadi tiga jenis (Mangkoedihardjo, 2009), yaitu :

1. Kontrol negatif (*untreated*), terdiri dari kelompok biota yang berasal dari sumber yang sama dengan biota uji. Dengan pengencer yang sama (tanpa toksikan uji atau pelarut) pada kondisi dan prosedur yang sama. Jenis kontrol ini dipakai untuk menentukan efek internal seperti kesehatan biota, dan kualitas bahan pengencer.
2. Kontrol pelarut dipakai ketika toksikan uji tidak mudah larut di air. Pada prinsipnya kontrol pelarut ini sama dengan kontrol negatif, kecuali volume maksimal pelarut yang dipakai untuk menyiapkan toksikan uji.
3. Kontrol, positif (*reference*), material yang dipakai telah diketahui dari hasil uji yang telah ada untuk menghasilkan efek tertentu dari biota. Kontrol positif ideal adalah toksik pada kondisi konsentrasi rendah, cepat memberi efek, stabil, non selektif, dan dapat dideteksi secara analitis.

Karena uji kontrol adalah bagian yang tidak terpisahkan dari uji toksisitas, maka uji kontrol perlu dievaluasi validitasnya. Uji kontrol valid jika jumlah biota yang terkena efek kontrol tidak melebihi 10% jumlah biota yang digunakan. Bila jumlah biota dalam uji kontrol terkena efek lebih dari 10% jumlah biota, maka pengujian harus diulang kembali (Buikema, *et al.*, 1982).

2.3 Lethal Concentration (LC₅₀)

Menurut Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS 2005), LC merupakan konsentrasi kematian suatu biota. Nilai LC biasanya mengacu pada konsentrasi bahan kimia di

udara maupun dalam air. Pedoman pengujian kimia melibatkan kelompok hewan yang terkena konsentrasi untuk jangka waktu tertentu (biasanya 4 jam). Biota tersebut secara klinis diamati sampai 14 hari. Konsentrasi bahan kimia yang membunuh 50% dari hewan uji selama periode pengamatan adalah nilai LC_{50} . Metode yang digunakan untuk menghitung LC_{50} adalah :

1. *Straight – line graphical interpolation* (Metode kalkulasi grafis)

Metode ini dapat memberikan gambaran secara cepat distribusi data konsentrasi efek, guna dilihat adanya korelasi positif antara konsentrasi toksikan dan efek akut. Namun demikian terdapat kelemahan, yaitu tidak memperhitungkan batas – batas kepercayaan LC_{50} . Prosedur perhitungan meliputi :

- a) Menyiapkan tabulasi data
- b) Data diplot pada grafik semilogaritma dengan sumbu y bernilai log sehingga didapatkan garis korelasi dengan persamaan sumbu.
- c) Masukkan $x=50$ pada persamaan sumbu, didapatkan nilai y yang merupakan konsentrasi toksikan yang mengakibatkan kematian ikan sebesar 50%.

2. *Moving average interpolation* (Metode rata – rata sudut bergerak).

Metode ini dipakai bila :

- a) Tidak ada akut parsial dalam pengujian
- b) Sedikitnya terdapat dua data konsentrasi toksikan yang lebih besar dari LC_{50} .
- c) Memperhitungkan batas – batas kepercayaan 95% dari hasil LC_{50} .

Prosedur perhitungan meliputi :

- Masukkan data konsentrasi toksikan (%) pada kolom KT dan hitung log KT.

- Hitung proporsi respon (R)

$$R = \frac{(\text{jumlah biota uji yang terkena efek})}{(\text{jumlah biota uji awal})}$$
- Hitung transformasi R menjadi satuan sudut (0R) dengan batasan sebagai berikut :
 - ✓ Untuk $R = 0,01 - 0,99$:
 ${}^0R = \text{Arc sin } (R)^{0,5}$
 - ✓ Untuk $R = 0$:
 ${}^0R = \text{Arc sin } (0,25/N)^{0,5}$
 - ✓ Untuk $R = 1$:
 ${}^0R = 90 - \text{Arc sin } (0,25/N)^{0,5}$
Dimana N = jumlah biota uji tiap wadah
- Hitung dua rata – rata sudut bergerak (S) yang besarnya :
 - ✓ Terdekat dengan sudut $< 45^0$ dengan cara menjumlahkan tiga 0R terbesar dan dibagi tiga. Hasilnya ditempatkan sebaris antara tiga 0R tersebut. Sudut ini merupakan S_{\min} .
 - ✓ Terdekat dengan sudut $> 45^0$ dengan cara menjumlahkan tiga 0R berikutnya dan dibagi tiga. Hasilnya ditempatkan sebaris antara tiga 0R tersebut. Sudut ini merupakan S_{\max} .
- Langkah untuk menghitung nilai LC_{50} :
 - ✓ Hitung $A = (45 - S_{\min}) / (S_{\max} - S_{\min})$
 - ✓ Hitung $\log LC_{50} = \log K_{\min} + (\log K_{\max} - \log K_{\min}) A$
 - ✓ Hitung $LC_{50} = 10^{\log LC_{50}}$

- ✓ Hitung batas – batas kepercayaan 95% LC_{50} .

3. *Lithfield – Wilcoxon abbreviated method.*

Metode ini digunakan jika :

- Harus ada efek akut parsial dalam pengujian
- Memperhitungkan batas – batas kepercayaan 95% dari hasil LC_{50} .

Prosedur perhitungan tersebut adalah :

- ✓ Memasukkan data konsentrasi toksikan dan proporsi respon pada grafik log-log serta menentukan garis korelasi dengan persamaan. Garis korelasi tersebut merupakan garis proporsi respon harapan.
- ✓ Mengidentifikasi proporsi respon harapan (RH) pada tiap konsentrasi dengan memasukkan nilai konsentrasi toksikan pada persamaan garis korelasi.
- ✓ Menghitung perbedaan mutlak antara respon uji terkoreksi (R) dan respon harapan (RH) untuk setiap konsentrasi.
- ✓ Menghitung Chi^2 tiap konsentrasi dengan bantuan nomograf Chi^2 .
- ✓ Menghitung tingkat kebebasan (N) dengan tabel Chi^2 untuk batas kepercayaan 95%.
- ✓ Menghitung LC_{50} berikut batas – batas kepercayaan 95% berdasarkan garis korelasi proporsi respon harapan yang telah diterima.

2.4 Biota Uji

Biota uji yang dipakai dalam penelitian ini adalah ikan mujair (*Oreochromis mosaambicus*) dan tumbuhan anacharis (*Egeria densa*). Pemilihan hewan uji tersebut sesuai dengan kriteria hewan uji toksisitas menurut APHA (2005), sebagai berikut:

- a. Organisme haruslah organisme yang sensitif terhadap material beracun dan perubahan lingkungan.
- b. Tersedia dalam jumlah banyak dengan berbagai macam ukuran sepanjang tahun.
- c. Dapat dipelihara dalam skala laboratorium.
- d. Merupakan sumberdaya yang bernilai ekonomis
- e. Sesuai dengan kepentingan uji hayati.

Menurut Zainal (2010), pertimbangan utama dalam pemilihan biota uji adalah biota yang harus sensitif terhadap bahan yang akan digunakan dalam uji (toksikan); diketahui kelimpahannya dalam suatu perairan; distribusinya tersedia sepanjang tahun; memiliki nilai ekonomis, mudah dipelihara dan dibudidayakan; bebas dari parasit dan penyakit.

Lebih dari 165 jenis biota telah diusulkan oleh APHA, ASTM, dan US EPA untuk uji biologis, namun kebanyakan dari biota tersebut adalah biota subtropis yang penggunaannya di daerah tropis perlu ditinjau kembali. Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian mengenai penggunaan berbagai jenis hewan laut tropis dari berbagai tingkat hidup dalam uji biologis diperlukan untuk menentukan biota uji baku.

2.4.1 Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)

Ditinjau dari taksonominya, ikan Mujair memiliki klasifikasi sebagai berikut (Prihatman, 2000) :

Kelas	: Pisces
Sub Kelas	: Teleostei
Ordo	: Percomorphi
Sub Ordo	: Percoidea
Famili	: Cichlidae

Genus : *Oreochromis*
Spesies : *Oreochromis mossambicus*



Gambar 2. 3 Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)

Sumber : Hasil Penelitian

Ikan Mujair merupakan ikan air tawar yang sanggup hidup di perairan payau. Ikan Mujair memiliki bentuk badan memanjang dan agak pipih, sisiknya berwarna coklat sampai coklat kehijauan atau coklat kehitaman. Tergantung pada lingkungan hidupnya.

Ikan Mujair termasuk ikan pemakan segala, sehingga dapat hidup di dataran rendah maupun pegunungan. Karena terlalu sering berkembang biak, kebanyakan ikan Mujair hanya dapat mencapai berat antara 80-140 g/ekor. Sirip punggung ikan mujair memiliki garis yang tidak begitu jelas dan pada ekor ikan Mujair tidak terdapat garis.

Ikan Mujair mengerami telurnya dan mengasuh anak-anaknya yang baru menetas di dalam mulut (Murtidjo, 2001).

Jenis ikan Mujair yang dikenal antara lain : mujair biasa, mujair merah (mujarah), atau jamerah dan mujair albino (Prihatman, 2000).

2.4.2 Anacharis (*Egeria densa*)

Klasifikasi anacharis (*Egeria densa*) berdasarkan www.plants.usda.gov adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida - Monocotyledon
Ordo	: Hydrocharitales
Famili	: Hydrocharitaceae
Genus	: <i>Egeria</i>
Spesies	: <i>Egeria densa</i>

Nama umum (internasional) dari *Egeria densa* adalah: *Dense waterweed*, *anacharis*, *Brazilian elodea*, *egeria*, *leafy elodea*, *Brazilian waterweed*, *waterpes*, *South American waterweed* (Csurhes *et al.*, 2008).

Egeria densa ditemukan di berbagai tipe perairan tawar, seperti: danau, waduk, kolam, serta sungai berarus lemah. Merupakan tanaman yang menggunakan kalsium bikarbonat untuk kompensasi rendahnya CO₂ yang ada di lingkungan. Tanpa kalsium bikarbonat dalam air, fotosintesis tanaman akan terganggu, daun berguguran, batang berubah menjadi coklat dan akhirnya mati. Tanaman *submerged*, alga dan *cyanobacteria*, mengimbangi kondisi yang merugikan melalui mekanisme ekstrusi biofisik atau proton (bersama-sama mengarah pada mekanisme konsentrasi CO₂). Mekanisme ini mengubah calcium bicarbonate larut (HCO₃) menjadi CO₂, sehingga mereka dapat beradaptasi pada lingkungan dengan kadar CO₂ rendah (Mulsow, *et al.*, 2006). Menurut Carillo, *et al.*, (2006), *Egeria densa* banyak ditemukan perairan tergenang di sepanjang daerah litoral dan masih ditemukan pada pinggiran perairan dengan kemiringan di atas 40%. Keberadaannya di perairan disajikan pada Gambar 2.5.

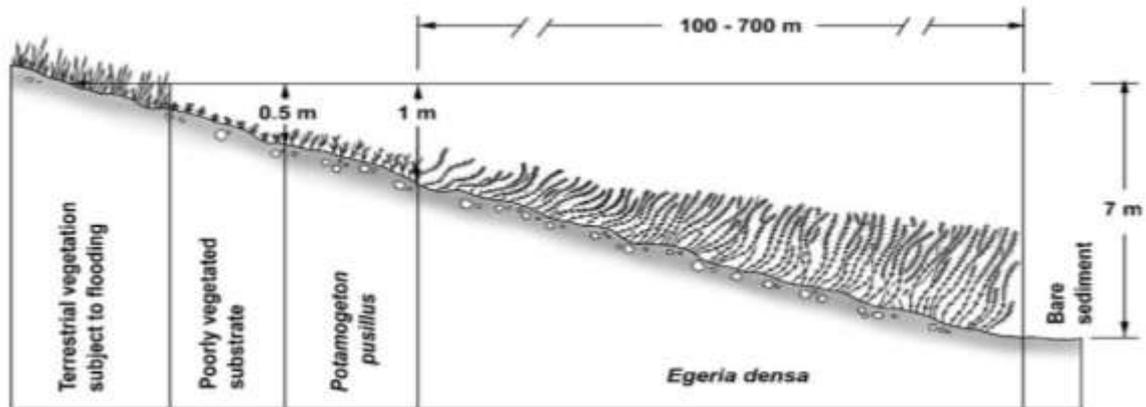
Sebagai tumbuhan air tipe tenggelam, akar dari *Egeria densa* akan berada dalam substrat, bahkan ada yang dijumpai pada kedalaman perairan hingga 7 meter. *Egeria densa* juga bisa bertahan dalam kondisi mengapung/tidak menempel pada substrat di perairan tergenang atau mengalir.



Gambar 2.4 *Egeria densa*

Sumber : Hasil Penelitian

Dominasi *Egeria densa* pada suatu perairan ditandai dengan terbentuknya hamparan koloni. Pada kondisi lingkungan yang sesuai, pertumbuhan *Egeria densa* akan berlangsung dengan cepat. Keberadaannya dalam jumlah banyak akan menutupi kolom perairan hingga permukaan air, serta menghalangi masuknya cahaya ke badan perairan. Invasi *Egeria densa* dapat menyebabkan pengurangan populasi dari tumbuhan asli serta mengurangi populasi ikan dan kehidupan biota air lain di perairan tersebut (Carillo, et al., 2006).



Gambar 2.5 Posisi *Egeria densa* di perairan

Sumber : Carillo *et al.*, 2006

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Uji toksisitas limbah marmer menggunakan ikan mujair dan tumbuhan *Egeria densa* dilakukan dalam skala laboratorium sesuai dengan standart (APHA, 2008). Dalam uji ini dilakukan pemaparan dengan air yang mengandung limbah marmer dengan dua variasi, yaitu :

- Variasi jenis biota uji, meliputi ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) dan tumbuhan anacharis.
- Variasi konsentrasi limbah marmer adalah 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% volume toksikan terhadap volume total.

Waktu pemantauan untuk pemaparan jangka pendek selama 96 jam atau empat hari. Pengamatan dilakukan untuk menentukan efek *lethal* (kematian) pada ikan dan tumbuhan air.

3.2 Rincian Langkah Penelitian

3.2.1 Persiapan Penelitian

a. Persiapan tempat

Pengujian toksisitas dilakukan di laboratorium jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS dan laboratorium jurusan Teknik Kimia FTI - ITS.

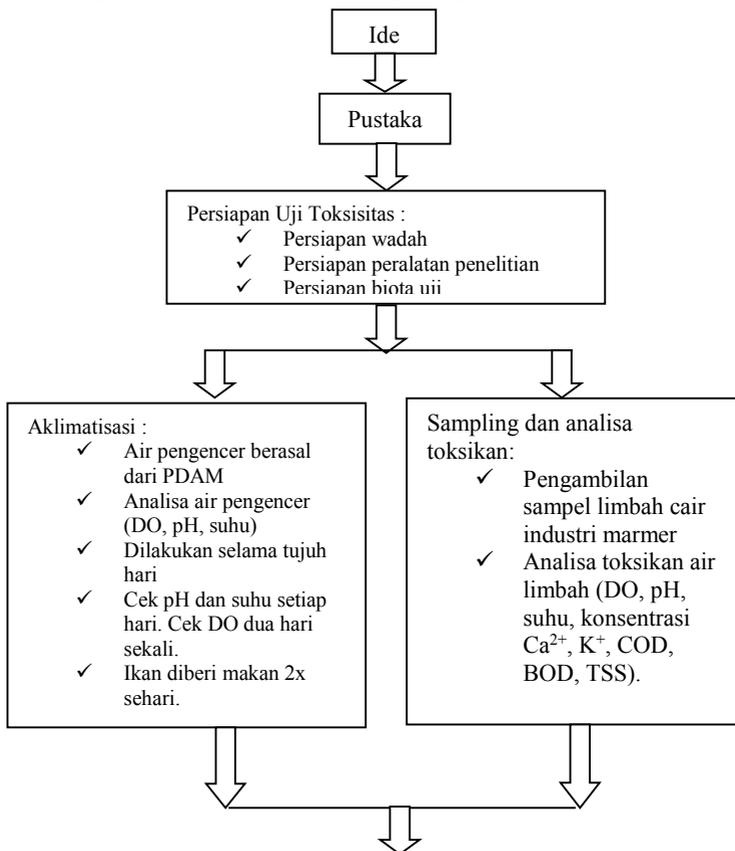
b. Persiapan peralatan

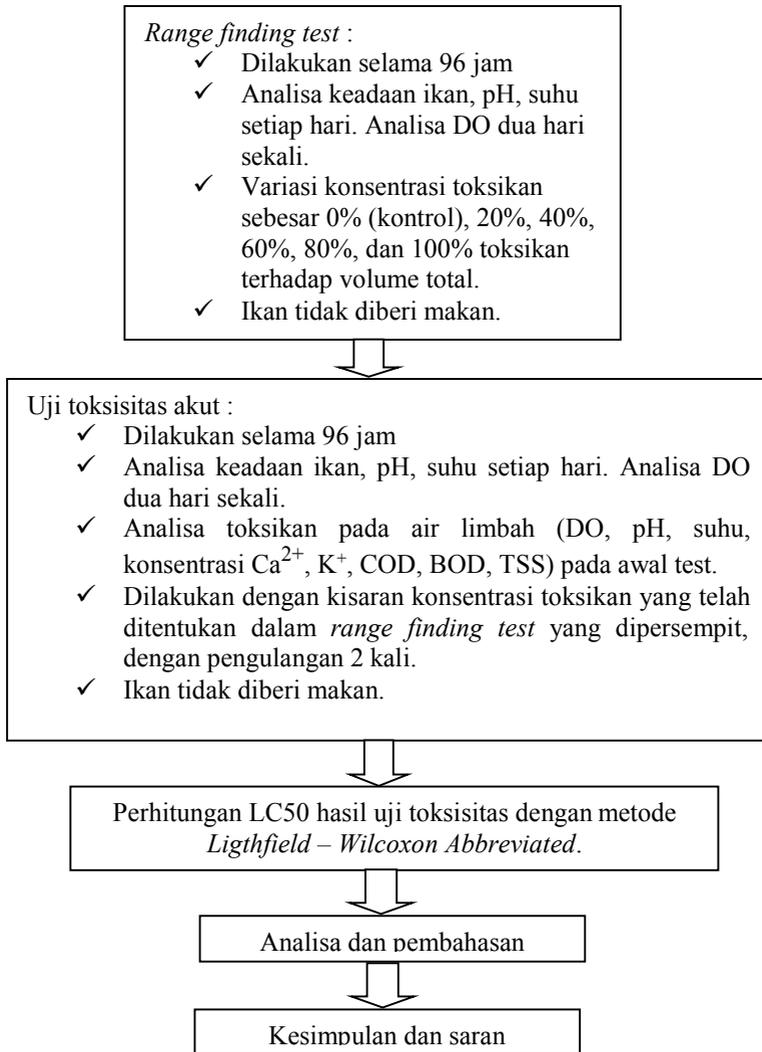
- ✓ Wadah untuk aklimatisasi.
- ✓ Peralatan pengambilan sampel (*jerry can* atau drum atau sarung tangan).
- ✓ Botol sebagai wadah limbah cair.
- ✓ Penggaris untuk mengukur tinggi tumbuhan.
- ✓ Perlengkapan aerasi (aerator, selang, *air stone*, *kompresor*).
- ✓ Ember tempat pemaparan limbah 10 liter (sebanyak 32 buah).

- ✓ Termometer, pH meter, DO meter, flame fotometer, AAS.

c. Pengadaan biota uji

Untuk ukuran, panjang ikan tidak boleh lebih dari 1,5 kali panjang ikan terpendek (Tandjung, 1995). Ikan mujair diambil dari benih ikan di Surabaya. Ikan yang dipilih untuk uji berukuran 4 – 6 cm. Tumbuhan *Egeria densa* diambil dari pembibitan tumbuhan di wilayah Surabaya. Dipilih yang panjang batang dan panjang akarnya sama.





Gambar 3. 1 Skema Urutan Langkah Kerja Penelitian

- d. Karantina biota uji
Selama perjalanan ke laboratorium, ada kemungkinan ikan mengalami stres dan terserang penyakit. Sehingga diperlukan karantina ikan dan anacharis dalam wadah yang bersih menggunakan air kran dari laboratorium selama \pm satu hari. Jika selama satu hari lebih dari 10% ikan atau anacharis terserang penyakit atau mati, biota tersebut tidak boleh dipergunakan sebagai biota uji.
- e. Air pengencer
Air pengencer yang digunakan dalam penelitian ini adalah air PDAM yang terdapat di Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Sebelumnya telah dilakukan terlebih dahulu pengukuran terhadap DO, suhu, dan pH atas air pengencer ini agar layak digunakan sebagai air pengencer dalam uji toksisitas.
- f. Air limbah uji
Air limbah yang digunakan adalah hasil limbah cair industri marmer dari proses pemotongan dan pemolesan di wilayah Tulungagung. Air limbah ini mengandung kapur dan asam potassium oksalat yang apabila terpapar berlebihan akan mengganggu kesehatan.

3.2.2 Analisa Pendahuluan

- a. Air PDAM sebagai air pengencer. Analisa meliputi parameter pH, suhu, dan DO. Hal ini berguna untuk mengetahui kelayakan air PDAM yang digunakan sebagai media dalam uji toksisitas untuk menghindari terjadinya kematian ikan akibat kondisi air pengencer yang tidak baik.
- b. Toksikan adalah limbah cair industri marmer yang berasal dari proses pemotongan dan pemolesan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pH, suhu, DO, COD, TSS, Ca^{2+} , K^{+} .

3.2.3 Prosedur Penelitian

Hal yang harus diperhatikan dalam uji toksisitas adalah :

1. Variasi konsentrasi toksikan dinyatakan dengan persen volume toksikan dalam volume total air. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan persen volume limbah marmer yang menyebabkan kematian organisme uji.
2. Kondisi pemaparan selama uji berlangsung adalah sebagai berikut :
 - a. Lama pemaparan pada *range finding test* dilakukan selama 96 jam dan uji toksisitas akut selama 96 jam.
 - b. Kapasitas wadah cukup untuk volume air yang digunakan untuk uji.
 - c. Beban maksimum yang direkomendasikan adalah 1 gr ikan/L untuk. Pengertiannya adalah 1 gr ikan berada pada lingkungan air sebesar 1 L. Dalam penelitian ini digunakan ikan dengan berat rata – rata 1 gr dan panjang tubuh sekitar 4 – 6 cm. Minimal 10 ikan digunakan pada masing – masing konsentrasi toksikan berdasarkan berat 1 gr ikan/L dan blanko dengan volume total wadah 10 L.
 - d. Sedikitnya terdapat lima variasi konsentrasi toksikan dan satu kontrol.
 - e. Air pengencer menggunakan air PDAM dengan total kesadahan berkisar 50 – 250 mg CaCO₃/L dan pH 6,0 – 8,5.
 - f. Temperatur berkisar antara 25⁰C – 30⁰C.
 - g. DO : 5 – 6 mg/L.
 - h. Selama pengujian ikan tidak diberi makan.
3. Pengamatan dilakukan setiap 24, 48, 72, dan 96 jam. Ikan dan anacharis yang mati disingkirkan dan akumulasi kematiannya dicatat.
4. Pengamatan suhu, pH, dan DO dilakukan setiap hari dengan prosedur penelitian uji toksisitas sebagai berikut :

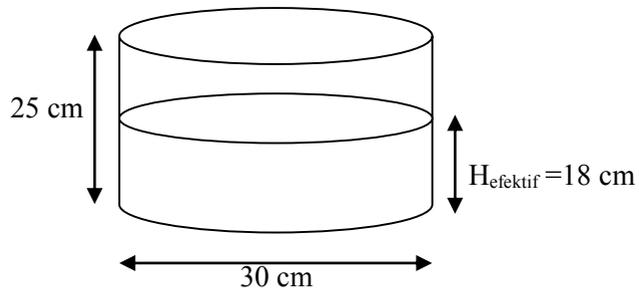
- i. Persiapan peralatan yang akan digunakan untuk memelihara ikan.
- ii. Aklimatisasi organisme uji

Sebelum aklimatisasi dilakukan karantina ikan yang telah diambil dari kolam pembenihan dan juga anacharis. Karantina dilakukan selama \pm satu hari. Ikan yang mati dipisahkan dari ikan yang hidup, begitu juga dengan anacharis. Setelah periode karantina, aklimatisasi dimulai untuk penyesuaian dengan kondisi laboratorium. Aklimatisasi dilakukan selama tujuh hari (APHA, 2008). Temperatur, dan pH diukur setiap hari. DO diukur dua hari sekali. Pemberian makan dan pembersihan kotoran biota uji dilakukan setiap hari untuk menghindari akumulasi kotoran yang dapat menimbulkan penyakit. Pengamatan dilakukan sesering mungkin, sehingga jika ada biota yang mati dapat langsung dikeluarkan dari wadah. Tumbuhan ditanam dengan tinggi 6 cm, dalam kerapatan 80 mg/cm^2 dengan tinggi tanah 5 cm dan ketinggian air 18 cm di atas permukaan tanah (Isyana, 2013). Dalam dua hari pertama aklimatisasi harus dilihat kelayakannya berdasarkan sebagai berikut :

 - a. Jika biota mati lebih dari 10% dari total populasi, maka kemungkinan besar air pengencer tidak memenuhi persyaratan atau kondisi biota yang kurang bagus. Air pengencer dan biota tersebut tidak dapat digunakan untuk uji toksisitas.
 - b. Jika biota yang mati antara 5 – 10% dari total populasi, maka aklimatisasi dapat dilanjutkan lagi hingga 14 hari.
 - c. Jika biota yang mati kurang dari 5% dari total populasi, maka air pengencer dan

ikan tersebut layak digunakan untuk uji toksisitas.

Aklimatisasi biota uji menggunakan wadah/ember dengan ukuran tertera pada Gambar 3.2.



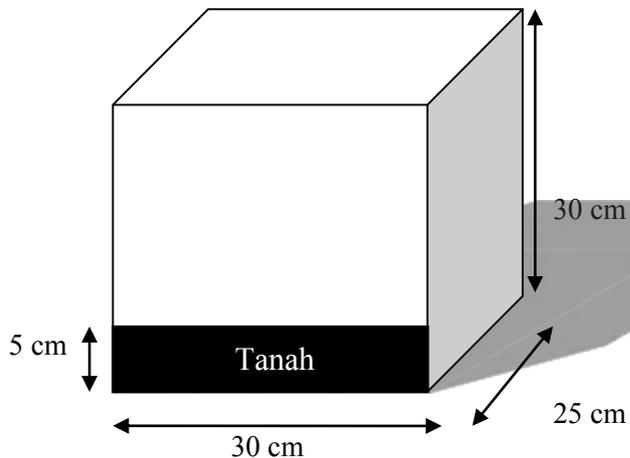
Gambar 3. 2 Wadah Biota Uji Tahap Aklimatisasi

- iii. *Range finding test* merupakan uji awal untuk menentukan konsentrasi terkecil yang menyebabkan kematian biota sebesar 50% setelah lama paparan 24 jam, sehingga interval konsentrasi dibuat cukup besar. Uji dilakukan sekali untuk masing – masing konsentrasi. Dengan perbandingan berat ikan 1 g/L air dan karena berat rata – rata ikan 1 g/ekor ikan maka volume air sebesar 10 liter dibebani oleh 10 ekor ikan. Tumbuhan ditanam dalam kerapatan 80 mg/cm^2 dengan tinggi tanah 5 cm dan ketinggian air 18 cm di atas permukaan tanah (Isyana, 2013). Tanah yang digunakan pada dasar reaktor berupa tanah pasir aquarium. Gunanya adalah untuk menahan batang anacharis agar tidak tumbang di dalam air. Variasi konsentrasi toksikan yang digunakan meliputi 100%, 80%, 60%, 40%, 20%, dan 0% total volume toksikan. Sketsa penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Langkah – langkah dalam mempersiapkan konsentrasi toksikan adalah :

- a. Toksikan diencerkan dengan air PDAM sesuai dengan prosentase konsentrasi toksikan. Misalnya toksikan 20% untuk volume total 10 L, dibutuhkan 2 L toksikan dengan 8 L air PDAM, kemudian dianalisa.
- b. Sebelum biota uji dimasukkan ke ember, dilakukan analisis terhadap toksikan meliputi parameter pH, DO, dan suhu.
- c. Langkah yang sama juga dilakukan pada uji toksisitas akut.

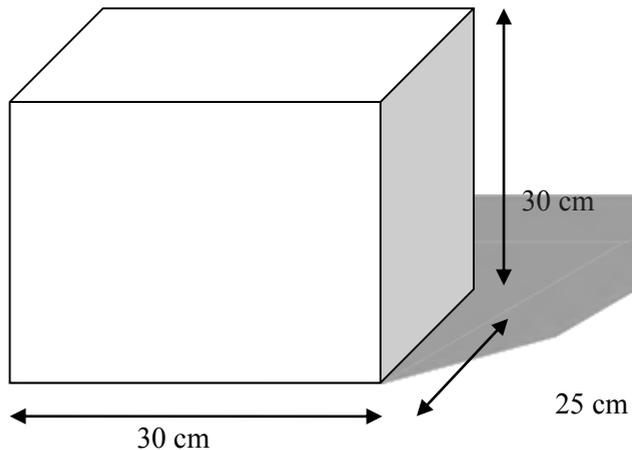
Range finding test biota uji baik ikan mujair dan anacharis menggunakan wadah dengan ukuran tertera pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Wadah Biota Uji Tahap Range Finding Test

- iv. Uji toksisitas akut bertujuan untuk menentukan konsentrasi toksikan yang dapat menyebabkan

kematian biota dalam waktu yang relatif singkat. Untuk masing – masing konsentrasi toksikan yang berbeda dilakukan pengulangan sebanyak dua kali. Dengan perbandingan 1 gr ikan/L air dan berat rata – rata ikan 1 gr/ekor ikan. Sehingga volume air sebesar 10 L dibebani oleh 10 ekor ikan. Tumbuhan ditanam dalam kerapatan 80 mg/cm² dengan tinggi tanah 5 cm dan ketinggian air 18 cm di atas permukaan tanah (Isyana, 2013). Data kematian ikan yang diperoleh pada pengamatan 96 jam digunakan untuk menentukan LC₅₀. Uji toksisitas akut menggunakan wadah dengan ukuran tertera pada Gambar 3.4.



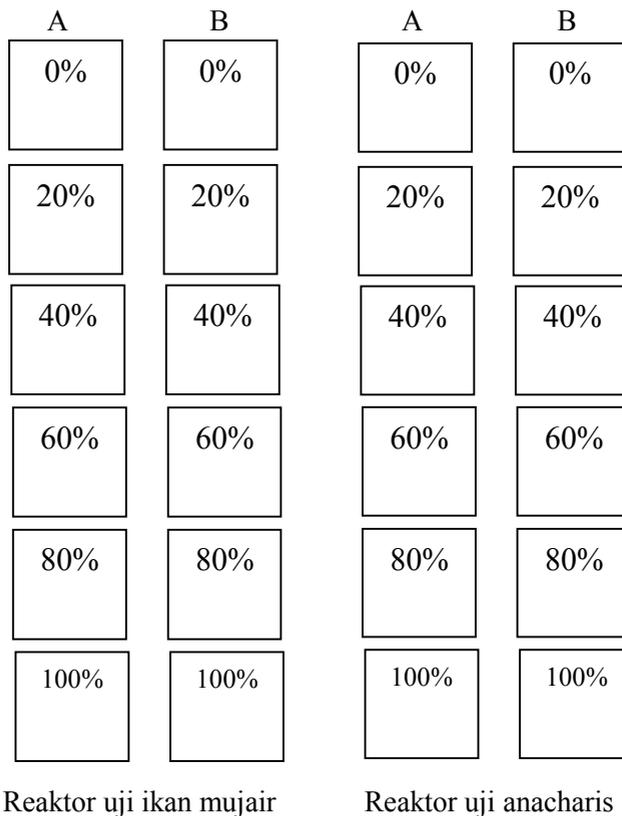
Gambar 3. 4 Wadah Biota Uji Tahap Uji Toksisitas Akut

3.3 Skema Rangkaian Penelitian

Wadah untuk pemaparan limbah adalah ember plastik yang sebelumnya telah direndam dengan air selama dua hari untuk menghilangkan bau plastik dari ember tersebut. Dalam tugas akhir ini, untuk *range finding test* dilakukan sekali. Untuk uji toksisitas

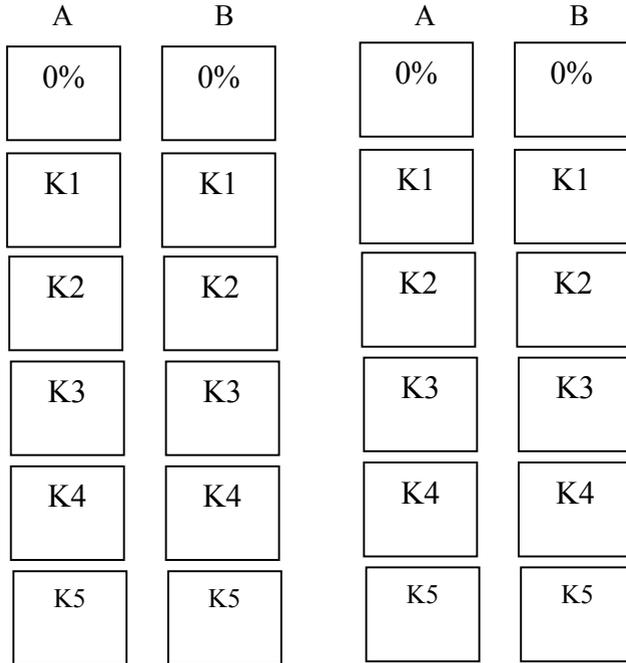
akut menggunakan replikasi sebanyak dua kali agar hasil yang didapat valid. Masing – masing ember diisi 10 ekor ikan untuk reaktor biota ikan dan untuk tumbuhan, masing-masing reaktor diisi 8 batang anacharis. Berikut adalah skema rangkaian penelitian pada Gambar 3.5.

a. Range finding test



Gambar 3. 5 Tampak Atas Reaktor Range Finding Test

b. Uji toksisitas akut



Reaktor uji ikan mujair

Reaktor uji anacharis

Keterangan :

K₁ – K₅ adalah konsentrasi toksikan yang didapat setelah kisaran tahap uji toksisitas akut ditemukan.

A merupakan air limbah dari proses pemotongan

B merupakan air limbah dari proses pemolesan

Gambar 3. 6 Tampak Atas Reaktor Uji Toksisitas Akut

3.4 Perhitungan LC₅₀ Hasil Uji Toksisitas

Nilai LC₅₀ diperlukan untuk analisa dan pembahasan dalam penelitian ini. Metode yang digunakan adalah *Ligthfield – Wilcoxon Abbreviated Method*. Metode ini dipakai apabila harus ada efek akurat parsial dalam pengujian, memperhitungkan batas –

batas kepercayaan 95% dari hasil LC_{50} . Prosedur perhitungan ini adalah :

- a. Memasukkan data konsentrasi toksikan dan proporsi respon pada grafik log serta menentukan garis korelasi dengan persamaannya. Garis korelasi tersebut merupakan garis proporsi respon harapan.
- b. Mengidentifikasi proporsi respon harapan (RH) pada tiap konsentrasi dengan memasukkan nilai konsentrasi toksikan pada persamaan garis korelasi.
- c. Menghitung perbedaan mutlak antara respon uji terkoreksi (R) dan respon harapan (RH) untuk setiap konsentrasi.
- d. Menghitung χ^2 tiap konsentrasi dengan bantuan nomogram χ^2 .
- e. Menghitung tingkat kebebasan (N) dengan tabel χ^2 untuk batasan kepercayaan 95%.
- f. Menghitung LC_{50} 96 jam beserta batas – batas kepercayaan 95% berdasarkan garis korelasi proporsi respon harapan yang telah diterima.

3.5 Teknik Analisis Parameter Penelitian

Pada uji toksisitas ini terdapat parameter yang dianalisa setiap hari, antara lain seperti total pH, dan suhu. DO diukur dua hari sekali. Pada awal percobaan, dilakukan analisa parameter COD, BOD, TSS, Ca^{2+} , dan K^+ pada air limbah marmer. Alat dan bahan dalam pengukuran parameter ini didapat dan menggunakan alat-alat yang tersedia dalam laboratorium Teknik Lingkungan dan laboratorium Teknik Kimia ITS.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dari penelitian ini dibuat berdasarkan analisa dan pembahasan dengan acuan studi literatur dan tujuan penelitian. Sedangkan pada saran dapat digunakan sebagai rujukan perbaikan dari hasil penelitian agar lebih baik.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

1.1 Aklimatisasi

Aklimatisasi merupakan upaya penyesuaian biota uji terhadap lingkungan baru yang digunakan untuk uji toksisitas. Dengan adanya aklimatisasi, kematian ikan yang disebabkan oleh stres dapat dihindari. Dari hasil aklimatisasi dapat diketahui apakah ikan dan anacharis dapat hidup dengan lingkungan dan air pengencer yang digunakan.

Ikan mujair dan anacharis diambil dari pembenihan ikan dan tumbuhan air di sekitar Surabaya. Ikan yang dipilih untuk uji berukuran 4 – 6 cm. Tumbuhan dipilih yang panjang batang dan panjang akarnya sama. Untuk ikan diambil sebanyak 450 ekor dan untuk anacharis sebanyak 200 batang untuk sekali tahap aklimatisasi. Selama perjalanan ke laboratorium, ada kemungkinan ikan dan tumbuhan mengalami stres dan terserang penyakit. Sehingga diperlukan karantina dalam wadah yang bersih menggunakan air kran dari laboratorium selama \pm satu hari. Aklimatisasi dilakukan selama tujuh hari untuk persiapan *range finding test* dan uji akut.

Pada tahap aklimatisasi digunakan air PDAM sebagai media hidup ikan yang bebas pencemar. Air pengencer yang digunakan dalam penelitian ini adalah air PDAM yang terdapat di Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Untuk menjaga kesehatan ikan, maka bak tempat hidup ikan dibersihkan setiap tiga hari sekali dan ikan diberi makan dua kali sehari. Analisa parameter yang perlu diperhatikan setiap hari adalah pH, dan suhu. Untuk DO, diperiksa setiap 2-3 hari sekali. Selama penelitian, kebutuhan oksigen dalam air ditunjang dengan bantuan aerator (kompresor). Ikan yang telah mati harus segera dipisahkan agar ikan yang masih sehat tidak terpengaruh. Adapun hasil aklimatisasi dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4. 1 Aklimatisasi pada Ikan Mujair

Hari ke -	Suhu (°C)	pH	DO (mg/L)	Perubahan
1	30	7,24	-	-
2	31	7,76	6,76	Mati 1 ekor
3	29	7,62	-	Mati 4 ekor
4	30	6,85	5,5	Mati 10 ekor
5	29	7,12	-	Mati 5 ekor
6	30	6,89	4,63	Mati 1 ekor
7	28	7,23	4,45	Mati 3 ekor

Sumber : Hasil penelitian

Tabel 4. 2 Aklimatisasi Anacharis

Hari ke -	Suhu (°C)	pH	DO (mg/L)	Perubahan
1	34	7,9	-	Tinggi batang 18,5 cm, tumbuh tunas, daun rontok
2	34	7,89	-	Tinggi batang 19 cm, tumbuh tunas
3	33	7,7	7,85	Tinggi tumbuhan 19,3 cm, tumbuh tunas.
4	29	7,85	7,19	Tinggi tumbuhan 19,6 cm, tumbuh tunas
5	32	7,4	-	Tinggi tumbuhan 20 cm, tumbuh tunas
6	33	7,64	-	Tinggi tumbuhan 20,3 cm, tumbuh tunas
7	28	7,7	7,86	Tinggi tumbuhan 20,5 cm, tumbuh tunas.

Sumber : Hasil penelitian

Berdasarkan Tabel 4.1 pada tahap aklimatisasi, pH air PDAM pada ikan mujair rata-rata 7,2, suhu rata-rata adalah 29,5°C, dengan DO rata-rata 5,3 mg/L sehingga masih memenuhi syarat untuk mendukung kelangsungan hidup biota uji. Rata-rata pertumbuhan batang anacharis setiap hari adalah 0,3 cm. Kematian ikan mujair pada tahap ini diakibatkan karena ikan belum bisa menyesuaikan diri terhadap lingkungan yang baru atau stres. Jumlah kematian ikan mujair pada tahap ini kurang dari 10%, sehingga air pengencer tersebut layak digunakan untuk uji toksisitas.

4.2 Range Finding Test

Range finding test merupakan tahapan mencari konsentrasi limbah yang diperkirakan menyebabkan kematian 50% dari populasi pada masing-masing reaktor. Tahapan ini dilakukan selama 96 jam dengan variasi konsentrasi limbah mulai dari 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%.

4.2.1 Karakteristik Limbah

Limbah marmer adalah limbah yang dihasilkan pada saat proses pengolahan batu marmer menjadi macam-macam bentuk kerajinan. Dalam proses pembuatan kerajinan itulah batu marmer yang semula berukuran besar dipotong menjadi berbagai ukuran menurut kebutuhan dengan menggunakan gergaji (Utami, 2010). Selama proses pemotongan, 25% massa marmer asli hilang menjadi debu (Karasahin and Terzi, 2007). Pada proses pemolesan ditambahkan bahan kimia yang mengandung asam potassium oksalat ($\text{KHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Sehingga limbah yang dihasilkan dari proses pemolesan marmer mengandung bahan beracun berupa garam oksalat.

Semua bahan bangunan termasuk marmer mengandung berbagai jumlah nuklida radioaktif alami. Untuk penelitian ini, parameter zat pencemar yang diduga sebagai penyebab kematian ikan adalah pH, COD, BOD, TSS, Ca^{2+} , dan K^+ . Hasil pemeriksaan laboratorium untuk tiap pencemar tersebut ada pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Karakteristik limbah yang digunakan untuk RFT

Parameter	Satuan	Konsentrasi Limbah		(Pergub. Jatim No. 72 Tahun 2013)
		A	B	Kadar maksimum (mg/L)
pH	-	8	7,9	6-9
COD	mg/L	310	3.593	100
BOD ₅	mg/L	148	1.760	50
TSS	mg/L	26.000	81.250	100
Ca ²⁺	mg/L	32.142	30.357	-
K ⁺	ppm	3,75	675	-

Sumber : Hasil uji laboratorium

Keterangan : A = Limbah marmer proses pemotongan

B = Limbah marmer proses pemolesan

Tabel 2. 1 Baku mutu air limbah industri keramik

Air limbah untuk Industri Keramik (Pergub. Jatim No. 72 Tahun 2013)	
Parameter	Kadar maksimum (mg/L)
TSS	100
Timbal (Pb)	1,0
Kobalt (Co)	0,6
Krom Total (Cr)	0,1
Kadmium (Cd)	0,1
Suhu	38 °C
BOD ₅	50
COD	100
pH	6,0-9,0

Sumber : Pergub. Jatim no. 72 Tahun 2013

Dari hasil analisis laboratorium dapat diketahui bahwa limbah cair industri marmer berada di atas baku mutu dan berpotensi menimbulkan pencemaran. Standar baku mutu ini diatur dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013, tentang

baku mutu air limbah industri keramik. Tabel 2.2 merupakan rincian parameter dari peraturan tersebut.

Pada tahap *range finding test* ini digunakan variasi konsentrasi limbah mulai dari 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Air pengencer menggunakan air PDAM pada laboratorium Teknik Lingkungan, ITS. Hal ini didasarkan pada jumlah kematian minimum ikan mujair pada tahap aklimatisasi. Konsentrasi limbah cair 100% berasal dari air limbah marmer murni. Sedangkan untuk konsentrasi lain, berdasarkan perhitungan berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Air dalam reaktor} &= 10 \text{ L/bak} \\
 \text{Limbah 80\%} &= 80\% \times 10 \text{ L/bak} \\
 &= 8 \text{ L limbah/ bak} \\
 \text{Air PDAM} &= 10 \text{ L} - 8 \text{ L} \\
 &= 2 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Sehingga limbah dengan volume 8 L dicampur dengan air PDAM sebanyak 2 L. Hasil perhitungan untuk tiap konsentrasi limbah dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Variasi konsentrasi limbah pada range finding test

Variasi Limbah	Volume Air Total (liter)	Air limbah (liter)	Air PDAM (liter)
100%	10	10	0
80%	10	8	2
60%	10	6	4
40%	10	4	6
20%	10	2	8
0%	kontrol	0	10

Sumber : Hasil perhitungan

Zat pencemar dalam tiap variasi limbah akan dihitung berdasarkan konsentrasi limbah asli. Konsentrasi zat pencemar dalam tiap reaktor untuk *range finding test* dapat dihitung dengan rumus pengenceran sebagai berikut :

Nilai COD dalam 80% limbah A :

- COD limbah asli (N1) = 310 mg/L
- Volume dengan limbah 80% (V1) = 8 L
- Volume air total (V2) = 10 L
- Nilai COD dengan limbah 80% (N2)

$$N2 = \frac{N1 \times V1}{V2} = \frac{310 \times 8}{10}$$

$$= 248 \text{ mg/L.}$$

Metode perhitungan zat pencemar ini juga berlaku untuk BOD, TSS, Ca^{2+} , dan K^+ .

4.2.2 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pada tahap *range finding test*, biota uji akan dipaparkan pada limbah cair industri marmer dengan variasi konsentrasi 100%, 80%, 60%, 40%, 20% dan 0% (sebagai kontrol). Pada tiap reaktor terdapat 10 ekor ikan Mujair dan 8 batang anacharis dengan durasi pemaparan 96 jam. Parameter yang diukur setiap hari adalah suhu, dan pH. Untuk DO pengukuran dilakukan 2-3 hari sekali. Ikan yang mati setiap harinya segera disingkirkan agar tidak mencemari media hidup ikan yang masih hidup. Untuk anacharis pengamatan langsung dilakukan setelah pemaparan selama 96 jam selesai.

Secara fisik ikan mujair yang terkena racun gejalanya hampir sama dengan ikan lainnya. Ikan yang terkena racun dapat diketahui dengan gerakan yang hiperaktif, menggelepar, lumpuh sehingga kemampuan ikan untuk beradaptasi semakin berkurang dan akhirnya menyebabkan kematian (Rudiyanti, *et al.*, 2009). Tumbuhan yang terkena toksikan akan mengalami gejala kerusakan pada jaringan daun, terganggunya fotosintesis, warna daun pucat, daun berguguran, pertumbuhan batang terhambat, dan lain –lain. Hal tersebut merupakan salah satu bentuk respon biota uji terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Konsentrasi limbah yang relatif tinggi dapat membunuh biota uji dalam waktu singkat. Hal tersebut tergantung pada daya tahan biota uji, sehingga jumlah kematian pada masing-masing konsentrasi tidak sama (lihat lampiran). Untuk mempermudah analisis kematian biota uji, maka dibuat jumlah kematian tiap harinya pada Tabel 4.6 dan 4.7. Pada tabel tersebut terlihat bahwa air toksikan dengan variasi konsentrasi yang berbeda dapat membunuh biota uji dalam waktu beberapa hari. Kematian tersebut diakibatkan oleh kandungan parameter pencemar yang cukup tinggi (terdapat pada Tabel 4.5).

Tabel 4. 5 Jumlah kematian biota uji limbah A pada tahap RFT

Konsentrasi	Hari ke-				Σ Kematian	% Kematian
	1	2	3	4		
Ikan Mujair						
0%	0	0	2	0	2	20
20%	0	0	1	1	2	20
40%	0	0	1	1	1	10
60%	0	0	1	1	1	10
80%	0	0	1	1	1	10
100%	0	0	1	1	1	10
Anacharis						
0%	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	1	1	12,5
40%	0	0	0	3	3	37,5
60%	0	0	0	5	5	62,5
80%	0	0	0	6	6	75
100%	0	0	0	8	8	100

Sumber : Hasil penelitian

Keseluruhan ikan yang mati, bagian insangnya berwarna kuning kehijauan. Ikan yang terpapar toksikan warnanya berubah menjadi putih ke abu-abuan dari yang awalnya berwarna hitam ke abau-abuan. Semakin tinggi konsentrasi toksikan, maka ikan yang mati akan semakin pucat warnanya.

Untuk anacharis, pengamatan dilakukan pada hari ke 4 (96 jam). Karena anacharis terletak pada dasar reaktor dan tertutup oleh endapan limbah, sehingga sulit jika dilakukan pengamatan pada hari ke 1-3. Dalam satu reaktor terdapat 8 batang anacharis dengan tinggi ± 6 cm. Pengamatan dilakukan dengan mengukur panjang batang tumbuhan dan jumlah tunas yang muncul. Berikut ini adalah deskripsi pengamatan anacharis :

- Kontrol : 8 batang bertunas, panjang daun bertambah dan bentuk daun rapat.
- 20% A : 7 batang bertunas kecil, bentuk daun rapat.
B : 6 batang bertunas kecil, bentuk daun renggang.
- 40% A : 5 batang bertunas kecil, bentuk daun rapat.
B : 4 batang bertunas kecil, bentuk daun renggang.
- 60% A : 3 batang bertunas kecil, bentuk daun rapat.
B : 3 batang bertunas kecil, bentuk daun renggang.
- 80% A : 2 batang bertunas kecil, bentuk daun rapat.
B : 1 batang bertunas kecil, bentuk daun renggang.
- 100%A : tidak ada yang bertunas.
B : tidak ada yang bertunas.

Pada limbah A, akar anacharis berwarna hijau kecolatan. Sedangkan pada limbah B, akar anacharis berwarna coklat kehitaman. Adanya penambahan asam potassium oksalat pada limbah B menyebabkan perubahan fisik bentuk daun anacharis. Dari yang semula berbentuk rapat, berubah menjadi renggang. Perubahan fisik pada anacharis di limbah A dan limbah B berbeda. Pada anacharis di limbah B, perubahan fisiknya lebih terlihat jelas.

Tabel 4. 6 Jumlah kematian biota uji limbah B pada tahap RFT

Konsentrasi	Hari ke-				Σ Kematian	% Kematian
	1	2	3	4		
Ikan Mujair						
0%	0	0	2	0	2	20
20%	0	0	0	1	1	10
40%	3	1	0	1	5	50
60%	10	0	0	0	10	100
80%	10	0	0	0	10	100
100%	10	0	0	0	10	100
Anacharis						
0%	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	2	2	25
40%	0	0	0	4	4	50
60%	0	0	0	5	5	62,5
80%	0	0	0	7	7	87,5
100%	0	0	0	8	8	100

Sumber : Hasil penelitian

Pada *range finding test* ini diketahui bahwa toksikan pada limbah B dengan konsentrasi 40% telah membunuh 50% ikan mujair. Limbah B dengan konsentrasi 40% telah menyebabkan kematian 50% anacharis. Limbah A dengan konsentrasi 60% telah menyebabkan kematian 62,5% anacharis. Sedangkan untuk limbah A dengan ikan mujair dilakukan perpanjangan uji prolong, karena dalam waktu 96 jam belum didapatkan ikan yang mati dengan presentase 50%. Konsentrasi limbah tersebut yang nantinya digunakan untuk uji definitif.

Air toksikan yang dipaparkan pada biota uji, terdapat dua jenis. Yaitu air limbah marmer proses pemotongan (A) dan air limbah marmer proses pemolesan (B). Untuk limbah A hanya

terdapat kandungan mineral murni. Sedangkan untuk limbah B terdapat tambahan bahan kimia berupa asam potassium oksalat ($\text{KHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Warna air limbah A berwarna coklat susu. Untuk limbah B warna airnya abu-abu dan berbau menyengat. Pada bagian atas limbah B terdapat lapisan film tipis yang berwarna putih. Semakin besar konsentrasi toksikan, semakin tebal dan banyak lapisan film yang terbentuk. Menurut Dewati (2008), warna coklat susu pada air limbah A disebabkan adanya campuran CaCO_3 (kalsium karbonat). Ini merupakan padatan yang hampir tidak dapat larut dalam air murni, tetapi terjadi penguraian dengan adanya karbon dioksida untuk pembentukan bikarbonat seperti berikut :



Aspek kimia lingkungan yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup ikan adalah suhu, pH, dan DO. Data penelitian pada tahap *range finding test* dapat dilihat pada Tabel 4.7 - 4.12.

Tabel 4. 7 Parameter suhu harian tahap *RFT* pada limbah A

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair	°C			
0%	28,6	27,9	27,8	28,3
20%	28,5	27,6	27,6	28,1
40%	28,6	27,6	27,6	28,1
60%	28,5	27,6	27,6	28
80%	28,5	27,6	27,6	28
100%	29	27,6	27,7	28,1

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Anacharis	°C			
0%	28,5	32	32	31
20%	28,5	31,5	31	31
40%	28,5	31	31	30,5
60%	28,6	31	31	30,5
80%	28,6	31	31	31
100%	28,6	31	31	31

Sumber : Hasil penelitian

Tabel 4. 8 Parameter suhu harian tahap RFT pada limbah B

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair	°C			
0%	28,6	27,9	27,8	28,3
20%	28,6	27,8	27,7	28,1
40%	28,6	27,7	27,7	28,1
60%	28,6	27,8	27,7	28,2
80%	28,6	27,6	27,7	28,1
100%	28,6	27,6	27,7	28,1
Anacharis	°C			
0%	28,5	32	32	31
20%	28,5	31,5	31	31
40%	28,4	31	31	31
60%	28,2	31	31	31
80%	28,4	31	31	31
100%	28,6	31	31	31

Sumber : Hasil penelitian

Berdasarkan Tabel 4.7 dan 4.8 terlihat bahwa perubahan suhu terjadi setiap hari. Hal itu akan berpengaruh terhadap jumlah oksigen dalam air dan kenyamanan biota uji terhadap lingkungan. Tetapi suhu lingkungan yang tidak terlalu ekstrim masih dapat ditolerir oleh biota uji. Sebagian biota akan mati pada suhu di bawah 9°C, sehingga kematian biota akibat perubahan suhu air jarang terjadi. Suhu rata-rata untuk limbah A dan B pada ikan mujair adalah 28 °C dan pada anacharis adalah 30 °C.

Anacharis memiliki konsistensi tinggi daripada submerged macrophyta lainnya pada temperatur tinggi di lingkungan tropis (Carvalho, *et al.*, 2005).

Berdasarkan Tabel 4.9, pH pada limbah A untuk biota uji ikan mujair dan anacharis berkisar antara 7-8. Untuk Tabel 4.10, pH pada limbah B untuk biota uji ikan mujair berada pada kisaran angka 7. Sedangkan untuk anacharis berkisar antara 6-7,7. Penurunan pH pada limbah B disebabkan oleh penambahan bahan kimia asam potassium oksalat. Semakin tinggi konsentrasi toksikan, pH akan semakin turun. Biota uji biasanya akan mati pada pH 4 (asam) dan pH 11 (basa). Sementara kegiatan reproduksi atau perkembangbiakan biota biasanya berlangsung dengan baik pada pH 6,5, tergantung pada jenisnya (Workagegn, 2012). Perubahan pH secara perlahan dapat menyebabkan keluarnya lendir berlebih, kulit menjadi berwarna keputihan, dan mudah terserang bakteri. Penyakit ikan juga berkaitan dengan naik turunnya nilai derajat keasaman (pH). Biasanya bakteri akan tumbuh baik pada pH basa, sementara jamur tumbuh baik pada pH asam (Lesmana, 2002).

Tabel 4. 9 Parameter pH harian tahap RFT pada limbah A

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair				
0%	7,52	7,51	7,37	7,32
20%	7,8	7,8	7,63	7,54
40%	7,9	7,86	7,73	7,58

Konsentrasi	Hari ke-			
	1	2	3	4
Ikan Mujair				
60%	7,94	7,91	7,88	7,61
80%	7,98	7,92	7,89	7,72
100%	8	7,61	7,72	7,75
Anacharis				
0%	7,17	7,48	7,5	7,66
20%	7,34	7,68	7,6	7,73
40%	7,5	7,7	7,65	7,76
60%	7,55	7,79	7,72	7,81
80%	7,62	7,8	7,76	7,85
100%	7,67	7,83	7,81	7,89

Sumber : Hasil penelitian

Fotosintesis memerlukan karbon dioksida yang akan dirubah menjadi monosakarida. Penurunan karbon dioksida dalam ekosistem akan meningkatkan pH perairan. Sebaliknya, proses respirasi oleh semua komponen ekosistem akan meningkatkan jumlah karbon dioksida, sehingga pH perairan menurun. Ini merupakan salah satu faktor yang menyebabkan pH air anacharis lebih rendah daripada ikan mujair.

Tabel 4. 10 Parameter pH harian tahap RFT pada limbah B

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair				
0%	7,52	7,51	7,37	7,32
20%	7,67	7,67	7,58	7,53
40%	7,74	7,72	7,71	7,63
60%	7,6	7,74	7,75	7,66

Konsentrasi	Hari ke-			
	1	2	3	4
Ikan Mujair				
80%	7,77	7,8	7,8	7,75
100%	7,8	7,92	7,91	7,88
Anacharis				
0%	7,17	7,48	7,5	7,66
20%	6,87	7,51	7,37	7,54
40%	6,74	7,57	7,39	7,38
60%	6,78	7,6	7,49	7,44
80%	6,64	7,65	7,5	7,48
100%	6,6	7,7	7,49	7,5

Sumber : Hasil penelitian

Pada Tabel 4.11 dan 4.12 terdapat nilai DO yang diukur setiap 2-3 hari sekali. Dari data tersebut nilai DO untuk limbah A dan B berkisar antara 4-7 mg/L. Sehingga bisa dikatakan bahwa DO pada limbah A dan B adalah optimum. DO minimum untuk kelangsungan hidup biota uji adalah 3 mg/L. Untuk menaikkan DO maka dilakukan aerasi dengan menggunakan kompresor. Pengukuran menggunakan DO meter Cyberscan dengan merek Eutech.

Tabel 4. 11 Parameter DO tahap RFT pada limbah A

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair				
mg/L				
0%	5,71	5,44	5,04	4,25
20%	5,85	5,56	4,79	4,23
40%	5,7	5,56	4,6	3,99
60%	5,81	5,53	5,09	4,22

Konsentrasi	Hari ke-			
	1	2	3	4
Ikan Mujair				
80%	5,75	5,59	5,11	4,2
100%	5,78	5,6	5,1	4
Anacharis				
	mg/L			
0%	5,92	-	5,53	-
20%	5,85	-	5,07	-
40%	5,71	-	5,14	-
60%	5,51	-	5,13	-
80%	6,16	-	5,08	-
100%	6	-	5,1	-

Sumber : Hasil penelitian

Tabel 4. 12 Parameter DO tahap RFT pada limbah B

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair				
	mg/L			
0%	5,71	5,44	5,04	4,25
20%	5,56	5,25	4,74	4,09
40%	5,82	5,5	5,02	4,19
60%	5,92	5,36	4,8	4,11
80%	6,02	5,52	5,06	4,27
100%	5,98	5,45	5	4,25

Sumber : Hasil penelitian

Konsentrasi	Hari ke-			
	1	2	3	4
Anacharis	mg/L			
0%	5,92	-	5,53	-
20%	6,62	-	4,45	-
40%	7,02	-	4,28	-
60%	6,97	-	4,05	-
80%	7,03	-	4,11	-

Sumber : Hasil penelitian

4.3 Acute Toxicity Test

Uji definitif merupakan kelanjutan dari *range finding test*. Konsentrasi limbah yang menyebabkan kematian biota uji sebesar 50% populasi pada tahap *range finding test*, akan dipersempit kisarannya pada uji ini. Uji definitif kali ini dilakukan secara duplo agar hasilnya akurat. Data konsentrasi limbah dan jumlah mortalitas biota uji digunakan untuk mencari besarnya nilai LC_{50} . Tujuan dari LC_{50} adalah membandingkan antara zat atau antar organ biota atau antar spesies biota. Dari perbandingan itu dapat diketahui zat mana yang paling toksik terhadap biota uji. Konsep yang digunakan pada uji definitif sama dengan tahap *range finding test* dan dapat dilaksanakan jika rentang konsentrasi penyebab efek telah dapat diduga. Hasil dari kedua uji definitif kemudian dirata-rata dan dibahas sebagai berikut.

4.3.1 Karakteristik Limbah

Karakteristik limbah diperiksa untuk mengidentifikasi kenaikan dan penurunan kadar parameter pencemar. Limbah yang diperiksa adalah limbah cair industri marmer. Karakteristik limbah yang digunakan untuk uji definitif 1 dan 2 dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan 4.14.

Tabel 4. 13 Karakteristik limbah yang digunakan untuk uji definitif 1

Parameter	Satuan	Konsentrasi Limbah		(Pergub. Jatim No. 72 Tahun 2013)
		A	B	Kadar maksimum (mg/L)
pH	-	7,56	7,12	6-9
COD	mg/L	635	2.595	100
BOD ₅	mg/L	310	1.610	50
TSS	mg/L	81.180	93.750	100
Ca ²⁺	mg/L	37.678	35.301	-
K ⁺	ppm	3,75	15	-

Sumber : Hasil uji laboratorium

Tabel 4. 14 Karakteristik limbah yang digunakan untuk uji definitif 2

Parameter	Satuan	Konsentrasi Limbah		(Pergub. Jatim No. 72 Tahun 2013)
		A	B	Kadar maksimum (mg/L)
pH	-	7,9	7,7	6-9
COD	mg/L	724	10.058	100
BOD ₅	mg/L	378	6.438	50
TSS	mg/L	109.800	156.380	100
Ca ²⁺	mg/L	23.214	18.214	-
K ⁺	ppm	4,45	66,5	-

Sumber : Hasil uji laboratorium

Keterangan : A = Limbah marmer proses pemotongan

B = Limbah marmer proses pemolesan

Kisaran konsentrasi limbah yang mengakibatkan kematian 50% populasi ikan mujair dan anacharis berbeda. Untuk uji definitif limbah B terhadap ikan mujair, memiliki rentang konsentrasi 0%, 12%, 19%, 26%, 33%, dan 40%. Untuk uji definitif limbah A terhadap anacharis memiliki rentang konsentrasi 0%, 12%, 24%, 36%, 48%, dan 60%. Untuk uji definitif limbah B terhadap anacharis memiliki rentang konsentrasi 0%, 12%, 19%, 26%, 33%, dan 40%. Sedangkan limbah A terhadap ikan mujair dilakukan perpanjangan uji prolong karena tidak ditemukan kematian mencapai 50% dari populasi. Penyempitan rentang konsentrasi limbah bertujuan untuk mendapatkan nilai mortalitas rata-rata 50% dari jumlah populasi. Rentang konsentrasi limbah A dan B berbeda, karena kandungan dari masing-masing limbah tersebut juga berbeda. Untuk limbah A (dari proses pemotongan marmer) mengandung mineral murni. Sedangkan limbah B (dari proses pemolesan marmer) mengandung mineral murni dan bahan kimia tambahan berupa asam potassium oksalat. Bahan kimia ini yang menyebabkan kadar COD dalam limbah B tinggi. Pencampuran pengencer dengan limbah sama seperti pada tahap *range finding test*. Adapun hasil perhitungan untuk tiap variasi konsentrasi limbah dapat dilihat pada tabel 4.15-4.17.

Tabel 4. 15 Variasi konsentrasi limbah pada uji definitif limbah B terhadap ikan mujair

Variasi Limbah	Volume Air Total (liter)	Air limbah (liter)	Air PDAM (liter)
40%	10	4	6
33%	10	3,3	6,7
26%	10	2,6	7,4
19%	10	1,9	8,1
12%	10	1,2	8,8
0%	Kontrol	0	10

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4. 16 Variasi konsentrasi limbah pada uji definitif limbah A terhadap anacharis

Variasi Limbah	Volume Air Total (liter)	Air limbah (liter)	Air PDAM (liter)
60%	10	6	4
48%	10	4,8	5,2
36%	10	3,6	6,4
24%	10	2,4	7,6
12%	10	1,2	8,8
0%	kontrol	0	10

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4. 17 Variasi konsentrasi limbah pada uji definitif limbah B terhadap anacharis

Variasi Limbah	Volume Air Total (liter)	Air limbah (liter)	Air PDAM (liter)
40%	10	4	6
33%	10	3,3	6,7
26%	10	2,6	7,4
19%	10	1,9	8,1
12%	10	1,2	8,8
0%	kontrol	0	10

Sumber : Hasil perhitungan

Kandungan pencemar dalam air toksikan akan sebanding dengan jumlah limbah yang ditambahkan pada air toksikan, sehingga didapatkan perhitungan dengan rumus $V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$ seperti pada tahap *range finding test*. Rincian kandungan parameter pencemar pada uji definitif 1 dan 2 terdapat pada lampiran. Di sini akan dijelaskan kandungan rata-rata parameter pencemar untuk setiap konsentrasi limbah pada tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Rata-rata parameter pencemar pada tahap uji definitif

Parameter	Satuan	Konsentrasi 100 ⁽¹⁾ (%)		
		Limbah A	Limbah B	
		Anacharis	Ikan Mujair	
COD	mg/L	680	6.327	6.327
BOD ₅	mg/L	344	4.024	4.024
TSS	mg/L	95490	125.065	125.065
Ca ²⁺	mg/L	30446	26.758	26.758
K ⁺	ppm	4,1	40,8	40,8

Keterangan : X⁽¹⁾ = konsentrasi berdasarkan hasil analisis laboratorium

A = Limbah marmer dari proses pemotongan

B = Limbah marmer dari proses pemolesan

4.3.2 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pada uji definitif range konsentrasi limbah A dengan biota uji anacharis adalah 12%, 24%, 36%, 48%, dan 60%. Untuk range konsentrasi limbah B dengan biota uji ikan mujair dan anacharis adalah 12%, 19%, 26%, 33%, dan 40%. Dengan adanya pemilihan range konsentrasi yang berdekatan ini, diharapkan jumlah kematian biota uji pada tiap konsentrasi limbah mendekati 50% jumlah populasi biota uji. Jumlah rata-rata kematian ikan setiap hari saat uji definitif dapat dilihat pada tabel 4.19-4.20.

Reaksi awal ketika ikan mujair dipindahkan ke dalam reaktor yang berisi limbah adalah ikan berenang menuju ke atas permukaan dan berputar - putar. Hal ini menandakan larutan uji sangat cepat larut di dalam air. Ikan mujair yang terkena racun menjadi tidak teratur pergerakannya, kehilangan keseimbangan dan cenderung berada di dasar. Ikan yang telah beradaptasi akan berenang menuju dasar reaktor dan sesekali akan naik ke permukaan. Ikan yang tidak dapat beradaptasi akan mati dan

terapung pada permukaan air limbah. Keadaan fisik ikan yang mati, tubuhnya berwarna pucat keabuan, insang berwarna kuning dan membengkak. Kematian ikan pada hari pertama dalam jangka waktu 5-10 jam dengan keadaan tubuh berlendir dan mulut terbuka. Ikan mujair yang terkena racun gejalanya hampir sama dengan ikan lainnya.

Tabel 4. 19 Rata-rata jumlah kematian biota uji limbah A pada tahap uji definitif

Konsentrasi	Hari ke-				Σ Kematian	% Kematian
	1	2	3	4		
Anacharis						
0%	0	0	0	2	2	25
12%	0	0	0	5	5	63
Konsentrasi	Hari ke-				Σ Kematian	% Kematian
	1	2	3	4		
Anacharis						
24%	0	0	0	5	5	63
36%	0	0	0	5	5	63
48%	0	0	0	6	6	75
60%	0	0	0	7	7	88

Sumber : Hasil penelitian

Tabel 4. 20 Rata-rata jumlah kematian biota uji limbah B pada tahap uji definitif

Konsentrasi	Hari ke-				Σ Kematian	% Kematian
	1	2	3	4		
Ikan Mujair						
0%	0	0	0	0	0	0
12%	0	1	1	2	4	40
19%	0	1	1	2	4	40
26%	0	4	0	1	5	50

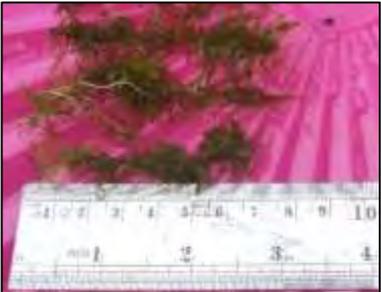
Konsentrasi	Hari ke-				Σ Kematian	% Kematian
	1	2	3	4		
Ikan Mujair						
33%	1	4	0	2	7	70
40%	9	0	0	0	9	90
Anacharis						
0%	0	0	0	2	2	25
12%	0	0	0	5	5	63
19%	0	0	0	5	5	63
26%	0	0	0	5	5	63
33%	0	0	0	6	6	75
40%	0	0	0	7	7	88

Sumber : Hasil penelitian

Seperti yang dinyatakan Rudiyaniti dan Ekasari (2009) bahwa ikan yang terkena racun dapat diketahui dengan gerakan yang hiperaktif, menggelepar, lumpuh sehingga kemampuan ikan untuk beradaptasi semakin berkurang dan akhirnya menyebabkan kematian. Ikan mujair mati karena telah terakumulasinya racun dalam tubuh ikan dan terhambatnya reaksi serta fungsi sistem saraf dalam tubuh ikan mujair (Rahmanpiu, 2007).

Untuk anacharis, pengamatan dilakukan pada hari ke 4 (96 jam). Karena anacharis terletak pada dasar reaktor dan tertutup oleh endapan limbah, sehingga sulit jika dilakukan pengamatan pada hari ke 1-3. Dalam satu reaktor terdapat 8 batang anacharis dengan tinggi batang \pm 6 cm. Tumbuhan ditanam dalam kerapatan 80 mg/cm² dengan tinggi tanah 5 cm dan ketinggian air 18 cm di atas permukaan tanah (Isyana, 2013). Tanah yang digunakan pada dasar reaktor berupa tanah pasir aquarium. Gunanya adalah untuk menahan batang anacharis agar tidak tumbang di dalam air. Pengamatan dilakukan dengan mengukur panjang batang tumbuhan dan jumlah tunas yang muncul. Berikut ini adalah deskripsi pengamatan anacharis pada uji definitif 1 :

Tabel 4. 21 Deskripsi anacharis pada uji definitif 1

Konsentrasi Limbah A	Gambar	Deskripsi
0%		5 batang bertambah panjang 2 cm, 3 batang bertunas, daun berwarna hijau segar.
12%		3 batang bertambah panjang 1 cm, daun berwarna hijau.
24%		2 batang bertambah panjang 1 cm, daun berwarna hijau sedikit kuning.

36%		2 batang bertambah panjang 1 cm, daun berwarna hijau sedikit menguning.
48%		1 batang bertambah panjang 2 cm, 1 batang bertunas, bentuk berwarna hijau kekuningan.
60%		3 batang bertambah panjang 1 cm, daun berwarna hijau kekuningan.

Konsentrasi Limbah B	Gambar	Deskripsi
12%	 A photograph showing five plant stems of varying lengths and curvatures, laid out on a bright pink fabric background. A white ruler with black markings is placed horizontally below the stems for scale. The stems are green with some yellowish-brown discoloration.	5 batang bertambah panjang 2 cm dan melingkar, daun berwarna hijau sayu kekuningan, bentuk daun renggang
19%	 A photograph showing four plant stems, similar in appearance to the first row, laid out on a pink background. A white ruler is positioned below them for scale. The stems are green and slightly curved.	4 batang bertambah panjang 2 cm, daun berwarna hijau sayu kekuningan, dan bentuk daun renggang
26%	 A photograph showing three plant stems, similar to the previous rows, laid out on a pink background. A white ruler is placed below them for scale. The stems are green and curved.	3 batang bertambah panjang 1 cm, daun berwarna hijau sayu kekuningan, bentuk daun renggang

33%		3 batang bertambah panjang 1 cm, daun berwarna hijau sayu kekuningan, bentuk daun renggang
40%		1 batang bertambah panjang 2 cm, daun berwarna hijau sayu kekuningan, bentuk daun renggang

Sumber : Hasil penelitian

Tabel 4. 22 Deskripsi anacharis pada uji definitif 2

Konsent rasi Limbah A	Gambar	Deskripsi
0%		4 batang bertambah panjang 2 cm, 2 batang bertunas, warna daun hijau segar, dan bentuk daun rapat.

12%		4 batang bertambah panjang 2 cm, warna daun hijau segar, dan bentuk daun rapat.
24%		4 batang bertambah panjang 2 cm, warna daun hijau, dan batang bagian bawah menguning.
36%		3 batang bertambah panjang 1,5 cm, 2 batang bertunas, warna daun hijau, bentuk daun rapat, batang bagian bawah menguning dan sedikit putih.
48%		3 batang bertambah panjang 1 cm, daun

		berwarna hijau sedikit putih, batang bagian bawah menguning, dan bentuk daun rapat.
60%		5 batang bertambah panjang 1 cm, daun berwarna hijau sedikit putih, batang mengecil dengan daun tipis berwarna kuning.
Konsent rasi Limbah B	Gambar	Deskripsi
12%		2 batang bertambah panjang 1 cm, warna daun kuning kehitaman, batang bagian bawah berwarna

		hitam, dan bentuk daun renggang.
19%		2 batang bertambah panjang 1 cm, 1 batang bertunas, warna daun hijau kehitaman, batang bagian bawah hitam, dan bentuk daun renggang.
26%		4 batang bertambah panjang 1 cm, warna daun hijau kehitaman, batang bagian bawah hitam sedikit putih, dan bentuk daun renggang.
33%		2 batang bertambah panjang 1 cm, warna

		<p>daun hijau kehitaman, batang bagian bawah berwarna hitam sedikit putih, dan bentuk daun renggang.</p>
40%		<p>1 batang bertambah panjang 1 cm, warna daun hijau kehitaman, batang bagian bawah berwarna hitam sdikit putih, dan bentuk daun renggang.</p>

Sumber : Hasil penelitian

Adanya penambahan asam potassium oksalat pada limbah B menyebabkan perubahan fisik bentuk daun anacharis. Dari yang semula berbentuk rapat, berubah menjadi renggang. Semakin tinggi konsentrasi limbah, semakin sedikit batang anacharis yang dapat tumbuh. Adanya lapisan film tipis yang terbentuk pada permukaan air limbah B menjadi salah satu faktor penyebab kematian anacharis dalam air. Menurut Haryati (2012), tumbuhan dapat beradaptasi dengan baik pada bahan pencemar dilihat dari

bertambahnya tinggi tumbuhan. Tumbuhan akan menyerap unsur hara (bahan pencemar) yang kemudian akan digunakan dalam produksi sel-sel baru.

Efek kematian biota uji disebabkan dari pemaparan air limbah dalam jangka waktu 96 jam disebut dengan efek akut. Efek tersebut disebabkan karena suatu toksikan dapat menghasilkan efek negatif yang dapat merusak struktur maupun fungsi biologis biota uji. Faktor yang dapat mempengaruhi kematian biota uji adalah sifat fisik kimia toksikan dan sifat fisik kimia biologis lingkungan (Mangkoediharjo, *et al.*, 2009). Dalam penelitian ini sifat fisik kimia biologis lingkungan adalah pH, suhu, dan DO. Sedangkan sifat fisik kimia toksikan adalah COD, BOD, TSS, Ca^{2+} , dan K^+ . Berikut ini adalah hasil analisa parameter toksikan yang mempengaruhi kematian biota uji :

✓ Sifat Fisik Kimia Biologis Lingkungan

a) pH

Zat pencemar lingkungan dapat mempengaruhi nilai pH, hal ini tergantung dari sifat kimiawi zat pencemar tersebut. Seperti limbah cair industri marmer yang memberi sifat basa pada air pengencer. Nilai pH selama uji definitif 1 dapat dilihat pada Tabel 4.23 dan 4.24.

Tabel 4. 23 Parameter pH harian rata-rata tahap uji definitif pada limbah A

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Anacharis				
0%	7,5	7,6	7,9	8,0
12%	7,6	7,7	7,9	7,9
24%	7,6	7,7	8,0	8,1
36%	7,7	7,8	8,0	8,1
48%	7,7	7,9	8,0	8,1
60%	7,8	7,9	8,0	8,2

Sumber : Hasil penelitian

Tabel 4. 24 Parameter pH harian rata-rata tahap uji definitif pada limbah B

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair				
0%	7,8	8,0	8,0	8,0
12%	7,3	8,0	8,0	8,0
19%	7,5	8,2	8,2	8,1
26%	7,7	8,2	8,2	8,1
33%	8,1	8,3	8,3	8,2
40%	8,1	8,0	8,2	8,4
Anacharis				
0%	7,5	7,6	8,0	8,0
12%	7,1	7,4	7,6	7,7
19%	6,9	7,3	7,7	7,7
26%	6,8	7,2	7,7	7,6
33%	6,8	7,1	7,6	7,7
40%	6,7	7,1	7,6	7,7

Sumber : Hasil penelitian

Berdasarkan Tabel 4.23 dan 4.24, selama tahap uji definitif 1 dan 2, pH lingkungan rata-rata mengalami kenaikan dan penurunan berkisar pada rentang pH 6-8. Hasil penelitian PT Sucofindo Jakarta tahun 2007, menyebutkan bahwa komposisi yang terkandung dalam limbah marmer adalah senyawa CaO dengan kadar 52,69%, CaCO₃ 41,92%, MgO 0,84%, MgCO₃ 1,76%, SiO₂ 1,62%, Al₂O₃ + Fe₂O₃ 0,37%. Kadar senyawa CaO dalam limbah marmer hampir sama dengan semen, yaitu 52,29% pada limbah marmer dan 60-67% pada semen (Utami, 2010). Kadar kalsium ini yang menyebabkan air limbah menjadi basa. Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013, tentang baku mutu air limbah industri keramik, pH maksimum

adalah 6-9. Sehingga pH lingkungan rata-rata pada uji definitif masih memenuhi syarat kelangsungan hidup biota uji.

CaCO_3 berguna sebagai penyangga suatu perairan. Saat terjadi fotosintesis, pH air akan naik karena CO_2 berkurang. Tetapi pada saat yang bersamaan CaCO_3 yang larut dalam air akan pecah dan membentuk CO_2 baru. Selanjutnya pH air mempunyai kecenderungan untuk turun lagi. Berdasarkan proses tersebut, kadar kalsium yang terkandung dalam air menjadi berkurang. Kalsium bikarbonat yang terbentuk pada pemecahan itu akan mengendap menjadi endapan putih di dasar perairan. Sebaliknya, apabila respirasi terjadi, pH air mempunyai kecenderungan untuk turun. Tetapi dengan segera gas CO_2 akan diikat oleh CaCO_3 . Sehingga jumlah CO_2 berkurang dan pH air naik.

b) Suhu

Suhu merupakan parameter lingkungan yang dapat mempengaruhi kehidupan biota. Sebagian biota akan mati pada suhu di bawah 9°C . Hasil penelitian suhu selama 96 jam pada uji definitif 1 dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan 4.26.

Tabel 4. 25 Parameter suhu harian rata-rata tahap uji definitif pada limbah A

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Anacharis	$^{\circ}\text{C}$			
0%	31,5	31,3	31,5	31,8
12%	31,5	31,3	31,5	31
24%	31,5	31,3	31,5	31
36%	31,5	31	31	31
48%	31,5	31	31	31
60%	31,5	31	31	31,3

Sumber : Hasil penelitian

Suhu rata-rata untuk limbah A dan B pada ikan mujair dan anacharis adalah 31⁰C. Anacharis memiliki konsistensi tinggi daripada submerged macrophyta lainnya pada temperatur tinggi di lingkungan tropis (Carvalho, *et al.*, 2005). Perubahan suhu terjadi setiap hari dengan kisaran 31-32⁰C. Secara keseluruhan suhu lingkungan biota uji masih memenuhi suhu optimum biota uji untuk tetap bertahan hidup. Sehingga kematian biota akibat perubahan suhu air jarang terjadi.

Tabel 4. 26 Parameter suhu harian rata-rata tahap uji definitif pada limbah B

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair	⁰ C			
0%	31	31	31,3	31,3
12%	31,5	31	31,3	31
19%	31,5	31	31,3	31
26%	31,5	31	31	31
33%	31,5	31	31	31
40%	31,5	31	31	31
Anacharis	⁰ C			
0%	31,5	31	31,3	31
12%	31,5	31	31	31
19%	31,5	31	31	31
26%	31,5	31	31	31
33%	31,3	31	31	30,8
40%	31,3	31	31	30,8

Sumber : Hasil penelitian

c) Dissolved Oksigen (DO)

Kebutuhan oksigen dalam air pada tahap uji definitif 1 dan 2 diperiksa setiap hari untuk mengetahui kadar oksigen dalam air

yang dapat terpenuhi. Setiap hari terjadi penurunan dan kenaikan nilai DO yang berkisar antara 4-6 mg/L. Hal ini terjadi karena media penyuplai oksigen adalah kompresor sehingga tidak dapat dipastikan jumlah oksigen murni yang masuk ke dalam air. Selain itu kenaikan suhu dan reaksi kimia dapat menyebabkan penurunan DO. Nilai DO selama 96 jam dapat dilihat pada Tabel 4.27 dan 4.28.

Tabel 4. 27 Parameter DO rata-rata tahap uji definitif pada limbah A

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Anacharis	mg/L			
0%	5,735	5,51	5,215	5,06
12%	5,67	5,435	5,085	4,935
24%	5,46	5,31	5	4,75
36%	5,04	5,17	4,875	4,575
48%	4,725	5,01	4,81	4,415
60%	4,55	4,86	4,61	4,295

Sumber : Hasil penelitian

Tabel 4. 28 Parameter DO rata-rata tahap uji definitif pada limbah B

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair	mg/L			
0%	5,7	5,6	5,0	4,6
12%	5,5	5,4	4,7	4,5
19%	5,6	5,5	4,9	4,5
26%	5,9	5,3	4,8	4,4
33%	6,0	5,5	5,1	4,4
40%	5,9	5,3	5,0	4,3

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Anacharis	mg/L			
0%	5,7	5,5	5,2	5,1
12%	5,5	5,2	5,1	5,0
19%	5,2	5,1	4,9	4,9
26%	5,0	4,9	4,6	4,8
33%	4,9	4,7	4,2	4,7
40%	4,8	4,5	4,1	4,4

Sumber : Hasil penelitian

Penurunan oksigen terlarut pada air terjadi karena adanya pengaruh mikroorganisme dalam menggunakan oksigen terlarut, untuk melakukan metabolisme dan adanya oksidasi beban pencemar yang terdapat pada limbah (Garno, 2000).

✓ Sifat Fisik Kimia Toksik

a) BOD

BOD adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk memecah, merombak, atau mengoksidasi bahan-bahan buangan berupa bahan organik mudah terurai dalam kondisi aerobik (Metcalf, *et al.*, 2003). Berdasarkan hasil analisa laboratorium pada tahap RFT, limbah cair industri marmer memiliki kandungan BOD yang cukup tinggi pada limbah B (dari proses pemolesan). Dengan perbandingan A: B = 1 : 11. Menurut Fitria (2012), penurunan BOD disebabkan aktivitas tumbuhan yang bekerja sama dengan mikroorganisme untuk memecah senyawa organik. Bahan organik akan diserap oleh mikroorganisme dan digunakan sebagai energi serta metabolisme mikroorganisme.

Peningkatan BOD disebabkan oleh penambahan kalium (K^+) pada proses pemolesan sebagai oksidator. Penambahan K^+ menyebabkan terbentuknya ion Ca^{2+} yang nantinya melalui proses

kimia akan menghasilkan CO₂. Karbondioksida ini digunakan untuk proses fotosintesis, sehingga nilai BOD pada limbah B tinggi. Nilai BOD pada limbah cair industri marmer telah melebihi baku mutu air limbah industri keramik pada Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013.

b) COD

Limbah cair industri marmer mengandung COD yang tinggi pada limbah B, dengan perbandingan A:B = 1:11. Kandungan COD yang tinggi diartikan zat organik yang terkandung dalam limbah tinggi. Nilai COD yang lebih besar daripada BOD dikarenakan bahan-bahan yang tidak dapat teroksidasi dalam uji BOD, dapat ikut teroksidasi dalam COD. Peningkatan COD disebabkan oleh penambahan asam potassium oksalat pada proses pemolesan yang menyebabkan terurainya Ca²⁺. Ion K⁺ berada di deret volta sebelah kiri Ca⁺, sehingga dapat menyingkirkan Ca⁺ untuk bergabung dengan senyawa karbonat, oksalat sehingga ion Ca²⁺ menjadi larut (Hidayati, *et al.*, 2009). Nilai COD pada limbah cair industri marmer telah melebihi baku mutu air limbah industri keramik pada Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013.

c) TSS

TSS limbah cair industri marmer ini mengandung zat organik dan anorganik berupa padatan melayang. Semakin tinggi TSS, maka bahan organik membutuhkan oksigen untuk perombakan yang lebih tinggi. Nilai TSS limbah B tiga kali lebih tinggi daripada limbah A. Penambahan asam potassium oksalat pada proses pemolesan menyebabkan terurainya ion Ca²⁺. Ion ini kemudian berikatan dengan asam karbonat berubah menjadi senyawa garam CaCO₃. Kalsium karbonat berupa endapan yang yang terdapat pada dasar reaktor, dengan reaksi sebagai berikut :



Nilai TSS pada limbah cair industri marmer telah melebihi baku mutu air limbah industri keramik pada Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013.

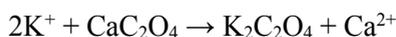
d) Ca²⁺

Kalsium yang terkandung pada limbah cair industri marmer berasal dari mineral alam. Ikan memanfaatkan kalsium untuk pembentukan tulang dan sisik, proses metabolisme, dan proses osmotik. Ikan dapat menyerap kalsium langsung dari lingkungannya. Penyerapan kalsium dilakukan melalui insang, sirip, dan epithelium mulut. Insang memegang peranan penting dalam regulasi kalsium. Kebutuhan kalsium pada ikan berkisar antara 5 gr/kg pakan. Penyerapan kalsium yang berlebih pada ikan, dapat mengendap di insang dan ginjal. Kadar kalsium pada limbah cair industri marmer sebesar ± 30.000 mg/L menyebabkan terganggunya insang akibat adanya pengendapan kalsium. Hal ini bisa menyebabkan kematian pada ikan.

Kelebihan kalsium pada tanaman dapat merangsang timbulnya kekurangan kalium dan unsur mikro mineral lainnya. Hal ini menyebabkan akumulasi garam kalsium melalui aliran kapiler, sehingga menyumbat sistem metabolisme pada tanaman.

e) K⁺

Kalium diperlukan oleh ikan untuk proses osmolaritas. Ion ini mempengaruhi kelarutan protein dan komponen lainnya. Kebutuhan kalium untuk ikan berkisar 0,9% per kg pakan. Ion K⁺ membuat kristal berupa kalsium oksalat terurai. Menurut Hidayati (2009), ion K⁺ akan bergabung dengan senyawa asam oksalat, atau asam urat yang merupakan pembentuk kristal dengan membentuk senyawa garam yang mudah larut dalam air, sehingga kristal itu akan terlarut secara perlahan-lahan dan ikut keluar bersama urin dengan reaksi kimia sebagai berikut :



Daya melarutkan ion K^+ terhadap kristal kalsium oksalat disebabkan oleh letak ion K^+ di dalam deret Volta sebelum letak ion Ca^{2+} , sehingga ion K^+ akan menyingkirkan ion Ca^{2+} untuk bergabung dengan senyawa karbonat, oksalat, atau urat dan ion Ca^{2+} menjadi larut.

Pada tumbuhan, kalium berfungsi sebagai katalisator dalam pembentukan protein. Kelebihan kalium pada tumbuhan, gejalanya mirip dengan kekurangan kalsium yaitu pertumbuhan tanaman terhambat sehingga mengalami defisiensi. Unsur kalium diserap lebih cepat oleh tanaman daripada kalsium. Kadar kalium pada limbah B yang lebih besar daripada limbah A menyebabkan pertumbuhan anacharis menjadi terganggu.

4.4 Perhitungan Nilai LC_{50} , 96 Jam

Perhitungan LC_{50} , 96 jam menggunakan metode Litcfield-Wilcoxon. Metode ini digunakan karena memperhitungkan batas-batas kepercayaan 95% dari hasil LC_{50} . Sehingga presisi data dapat terpenuhi.

4.4.1 LC_{50} Tumbuhan Anacharis (*Egeria densa*)

Perhitungan LC_{50} , 96 jam untuk anacharis pada paparan limbah A dan B adalah sebagai berikut :

1. Data rata-rata yang diperoleh pada saat uji definitif 1 dan 2 digunakan untuk menghitung proporsi kematian. Rumus proporsi kematian adalah sebagai berikut :

$$R = \frac{\Sigma mortalitas}{\Sigma biota} \times 100\%$$

Contoh :

Untuk konsentrasi toksikan 12% :

$$\Sigma mortalitas = 5 \text{ ekor}$$

$$\Sigma biota = 8 \text{ batang}$$

$$R = \frac{5}{8} \times 100\% = 63$$

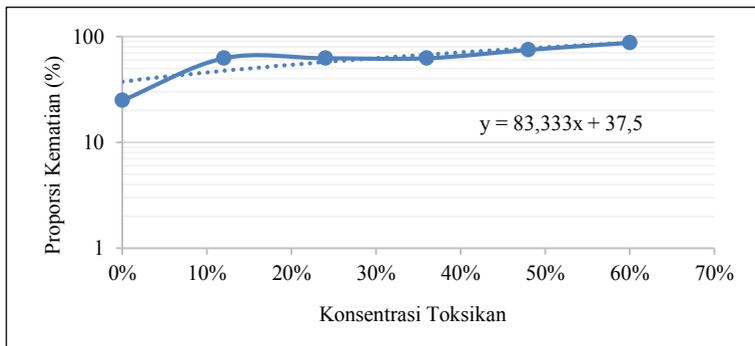
Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4. 29 Perhitungan Proporsi Kematian Anacharis pada Limbah A

Konsentrasi	Σ Biota	Σ Kematian	R	RH	R-RH	Chi ²
Anacharis						
0%	8	2	25	38	13	0,1
12%	8	5	63	47	15	0,2
24%	8	5	63	57	5	0,01
36%	8	5	63	67	4	0,01
48%	8	6	75	77	2	0,02
60%	8	7	88	87	1	0,001
$\Sigma=6$	$\Sigma=48$					$\Sigma=0,34$

Sumber : Hasil perhitungan

- Masukkan data konsentrasi toksikan dan proporsi respon biota (R) pada grafik log, serta cari garis korelasi dengan persamaannya. Garis korelasi tersebut merupakan garis proporsi respon harapan. Grafik dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik Log Konsentrasi Proporsi Harapan Anacharis pada Limbah A

Sumber : Hasil perhitungan

3. Mengidentifikasi proporsi respon harapan (RH) pada tiap konsentrasi dengan memasukkan konsentrasi toksikan (sebagai x) dalam persamaan garis korelasi $y = 83,333x + 37,5$.

Contoh :

Untuk konsentrasi toksikan 12%, proporsi kematian (x) : 63, sehingga

$$Y = 83,333x + 37,5$$

$$RH = 83,333 (63) + 37,5$$

$$RH = 47$$

4. Menghitung Chi^2 tiap konsentrasi dengan bantuan nomograf Chi^2 yang dapat dilihat pada lampiran. Contoh untuk konsentrasi 12% dari nomograf didapatkan $\text{Chi}^2 = 0,2$. Hasil nilai Chi^2 dapat dilihat pada tabel 4.29.
5. Selanjutnya setelah didapat Chi^2 , hitung Chi^2 perhitungan.

$$\text{Chi}^2 \text{ perhitungan} = \frac{48}{6} \times 0,34$$

$$= 2,704$$

6. Menghitung tingkat kebebasan (N) sehingga diperoleh nilai Chi^2 dibandingkan dengan Chi^2 perhitungan :
- Jika Chi^2 perhitungan $<$ Chi^2 (95%) maka garis korelasi konsentrasi toksikan harapan dapat diterima untuk perhitungan lebih lanjut.
 - Jika tidak demikian, maka dicoba kembali hingga memenuhi Chi^2 perhitungan $<$ Chi^2 (95%).
 - Jika dengan banyak perulangan masih belum memenuhi Chi^2 perhitungan $<$ Chi^2 (95%), maka uji ekotoksitasnya harus diulang.

Tingkat kebebasan (N) diperoleh dengan cara :

$$N = K - 2$$

$$= 6 - 2 = 4$$

Berdasarkan tabel 4.33 dengan $N = 4$, diperoleh $\text{Chi}^2 = 9,49$. Karena nilai Chi^2 perhitungan (2,704) $<$ Chi^2 95% (9,49), maka garis konsentrasi toksikan dapat diterima sehingga perhitungan dapat dilanjutkan.

7. Menghitung LC_{50} , 96 jam berikut batas-batas kepercayaan 95% berdasarkan garis korelasi proporsi respon harapan yang telah diterima.

- Dari persamaan garis korelasi dapat ditentukan nilai :

$$LC_{45} = 0,09$$

$$LC_{50} = 0,15$$

$$LC_{55} = 0,21$$

- Menentukan kemiringan garis korelasi konsentrasi proporsi harapan :

$$S = \frac{LC_{55} - LC_{50}}{LC_{50} - LC_{45}} \times \frac{1}{2}$$

$$= \frac{0,21 - 0,15}{0,15 - 0,09} \times \frac{1}{2} = 1,5$$

- Menghitung faktor LC_{50} dengan persamaan berikut :

$$f_{LC_{50}} = S^{\frac{2,77}{N^{0,5}}}$$

$$= 1,5^{\frac{2,77}{12^{0,5}}}$$

$$= 1,4$$

- Menentukan batas-batas kepercayaan 95% LC_{50} :

$$\begin{aligned} \text{Batas atas} &= LC_{50} \times f \\ &= 0,15 \times 1,3 = 0,20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas bawah} &= LC_{50} / f \\ &= 0,15 / 1,3 = 0,11 \end{aligned}$$

LC_{50} , 96 jam untuk anacharis pada limbah A = 15% ± 4,5

Tingkat toksisitas suatu zat pencemar akan berbeda pada tiap biota, hal ini tergantung dari spesies, umur, cara masuk suatu zat pencemar dan faktor lingkungan. Suatu zat dikatakan toksik jika dengan konsentrasi kecil mampu membunuh biota uji. Pada toksikan limbah cair industri marmer A terhadap anacharis dengan konsentrasi limbah 15% mampu membunuh anacharis 50% dari jumlah populasi. Nilai LC_{50} , 96 jam biota lain dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4. 30 Nilai LC₅₀, 96 jam Limbah Cair Industri Marmer

Jenis Limbah	Biota	Nilai LC₅₀, 96 jam
A	Anacharis	15% ± 4,5
B	Anacharis	12% ± 2,95
	Ikan Mujair	22% ± 2

Sumber : Hasil perhitungan

4.5 Zat Kimia dalam Tubuh Ikan

Zat kimia berlebih yang masuk ke dalam jaringan tubuh biota dapat melalui beberapa jalan, yaitu pernafasan, pencernaan, dan penetrasi melalui kulit. Insang ikan adalah jaringan yang sensitif karena hanya dilindungi oleh operculum yang tipis sehingga mudah sekali rusak. Tumbuhan membutuhkan mineral dan ion untuk proses respirasi dan fotosintesis. Namun apabila jumlah ion ataupun mineral yang masuk berlebih, akan menjadi zat pencemar dalam sistem metabolisme tumbuhan. Ion K^+ dan Ca^{2+} yang jumlahnya berlebih dan terkandung dalam air limbah akan menjadi zat pencemar di dalam tubuh biota. Selain itu adanya zat kimia toksik yang lain, seperti TSS, BOD, dan COD dapat menjadi faktor lain penyebab biota uji mati. Hal itu terlihat pada perubahan warna insang, warna kulit, warna batang, bentuk daun, dan tinggi batang dari biota uji (foto terdapat pada lampiran).

Pada tahap akhir uji toksisitas, biota yang terpapar limbah dengan konsentrasi tinggi, dan kontrol diuji kandungan K^+ dan Ca^{2+} yang terdapat dalam tubuh. Metode pengukuran K^+ dilakukan dengan metode *flamephotometri* di laboratorium TAKI Jurusan Teknik Kimia ITS. Sedangkan pengukuran Ca^{2+} dilakukan dengan metode *kompleksometri* di laboratorium kualitas lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Berikut ini adalah hasil akumulasi K^+ dan Ca^{2+} dalam tubuh biota uji :

Tabel 4. 31 Kandungan K⁺ dalam Tubuh Biota Uji

Biota Uji	Limbah	K ⁺ dalam air total (ppm)	K ⁺ dalam ikan (ppm)
A			
Anacharis	0%	0	3260
	60%	2,67	1294
B			
Ikan Mujair	0%	0	7646
	40%	26,6	2153
Anacharis	40%	26,6	1092

Sumber : Analisis laboratorium

Tabel 4. 32 Kandungan Ca²⁺ dalam Tubuh Biota Uji

Biota Uji	Limbah	Ca ²⁺ dalam air total (ppm)	Ca ²⁺ dalam ikan (ppm)
A			
Anacharis	0%	0	179
	60%	13928,4	1057
B			
Ikan Mujair	0%	0	93
	33%	6010,6	120
Anacharis	40%	7285,6	823

Sumber : Analisis laboratorium

Berdasarkan hasil penelitian yang tercantum pada tabel 4.31 dan 4.32, terdapat kadar ion K⁺ dan Ca²⁺ yang terserap dalam tubuh biota. Ion tersebut terserap dalam tubuh dikarenakan habitat biota adalah limbah cair industri marmer. Adanya ion dalam tubuh biota juga terdapat pada biota kontrol, tetapi jumlahnya tidak terlalu besar dibandingkan dengan ikan yang terpapar limbah. Kandungan K⁺ pada limbah A dengan biota uji anacharis lebih kecil 40% daripada kontrol. Pada limbah B dengan biota uji

anacharis kandungan K^+ 33% lebih kecil daripada kontrol. Untuk ikan mujair pada limbah B kandungan K^+ 28% lebih kecil daripada kontrol. Adanya ion K^+ bisa disebabkan oleh habitat asli biota telah mengandung K^+ dan juga untuk limbah B media tanah yang digunakan mengandung K^+ . Kandungan Ca^{2+} pada limbah A dengan biota uji anacharis 6x lebih besar daripada kontrol. Sedangkan untuk limbah B dengan biota uji anacharis kandungan Ca^{2+} 1,3x lebih besar daripada kontrol. Untuk ikan mujair pada limbah B kandungan Ca^{2+} 4,6x lebih besar daripada kontrol.

Kandungan K^+ pada biota uji lebih kecil daripada kontrol disebabkan oleh ion K^+ yang bergabung dengan senyawa asam oksalat, atau asam urat yang merupakan pembentuk kristal dengan membentuk senyawa garam yang mudah larut dalam air, sehingga kristal itu akan terlarut secara perlahan-lahan dan ikut keluar bersama urin (Hidayati, 2009). Sedangkan kandungan Ca^{2+} pada biota uji lebih besar daripada kontrol dikarenakan limbah marmer mengandung zat kapur yang tinggi. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan jenis biota uji, karakteristik, dan daya tahan. Berdasarkan nilai pada Tabel 3.34 dan 3.35, ion Ca^{2+} lebih banyak diserap oleh biota uji. Tampaknya bukan nilai Ca^{2+} saja yang menyebabkan biota uji mati, tetapi akumulasi dari parameter lainnya seperti K^+ , TSS, COD, dan BOD dalam tubuh biota. Akumulasi ini menyebabkan perubahan metabolisme yang dapat mengganggu kesehatan biota hingga menyebabkan kematian.

Biota uji yang terpapar limbah mengalami biokonsentrasi dimana suatu zat yang terlarut secara efektif masuk ke dalam jaringan organisme dan terkonsentrasi. Besarnya biokonsentrasi dalam tubuh biota sebanding dengan *bioconcentration factor* (BCF) yang dinyatakan dalam perbandingan konsentrasi zat dalam biota dengan konsentrasi zat dalam air. Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 3.31 dan 3.32 diperoleh nilai BCF sebagai berikut :

$$BCF = \frac{[\text{zat kimia dalam ikan}]}{[\text{zat kimia dalam air}]}$$

Sehingga :

BCF ion K⁺

Anacharis

- Limbah A 60% = $\frac{1294 \text{ ppm}}{2,67 \text{ ppm}} = 484,6$
- Limbah B 40% = $\frac{1092 \text{ ppm}}{26,6 \text{ ppm}} = 41$

Ikan mujair

- Limbah B 40% = $\frac{2153 \text{ ppm}}{26,6 \text{ ppm}} = 81$

BCF ion Ca²⁺

Anacharis

- Limbah A 60% = $\frac{1057 \text{ ppm}}{13928,4 \text{ ppm}} = 0,076$
- Limbah B 40% = $\frac{823 \text{ ppm}}{7285,6 \text{ ppm}} = 0,11$

Ikan mujair

- Limbah B 33% = $\frac{120 \text{ ppm}}{6010,6 \text{ ppm}} = 0,02$

Berdasarkan perhitungan di atas dapat diketahui bahwa BCF lebih besar pada ion K⁺. Sehingga ion K⁺ lebih mudah terkonsentrasi dalam tubuh biota uji. Semakin besar nilai BCF berarti semakin besar pula kemampuan biota untuk menyerap dan mengakumulasi zat dalam tubuh.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian tugas akhir dengan judul **Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Industri Marmer dengan Biota Uji Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) dan Tumbuhan Anacharis (*Egeria densa*)** adalah:

1. Toksisitas limbah tertinggi ada pada jenis limbah cair industri marmer dari proses pemolesan.
2. Limbah cair industri marmer dari proses pemotongan tidak bersifat akut terhadap biota uji ikan mujair, tetapi bersifat akut terhadap tanaman anacharis.
3. Nilai LC_{50} , 96 jam pada biota uji :
 Limbah pemotongan dengan biota anacharis adalah 15%
 ? 4,5
 Limbah pemolesan dengan biota anacharis adalah 12%
 ? 2,45
 Limbah pemolesan dengan biota ikan mujair adalah 22%
 ? 2
4. Nilai LC_{50} , 96 jam tertinggi ada pada limbah pemolesan marmer dengan biota uji anacharis.
5. Kematian biota uji disebabkan oleh akumulasi beberapa parameter kimia yang terdapat dalam air limbah.
6. Konsentrasi Ca^{2+} tertinggi pada biota uji :
 - a. Ikan Mujair : 33% toksikan B adalah 120 ppm
 - b. Anacharis : 60% toksikan A adalah 1057 ppm
 40% toksikan B adalah 823 ppm
 Konsentrasi K^+ tertinggi pada biota uji :
 - a. Ikan Mujair : 40% toksikan B adalah 2153 ppm
 - b. Anacharis : 60% toksikan A adalah 1294 ppm
 40% toksikan B adalah 1092 ppm

7. Nilai BCF lebih besar pada ion K^+ dengan nilai tertinggi pada limbah pemotongan marmer dengan biota uji *anacharis* sebesar 484,6.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dan pembahasan, maka terdapat beberapa saran untuk perbaikan mendatang, antara lain :

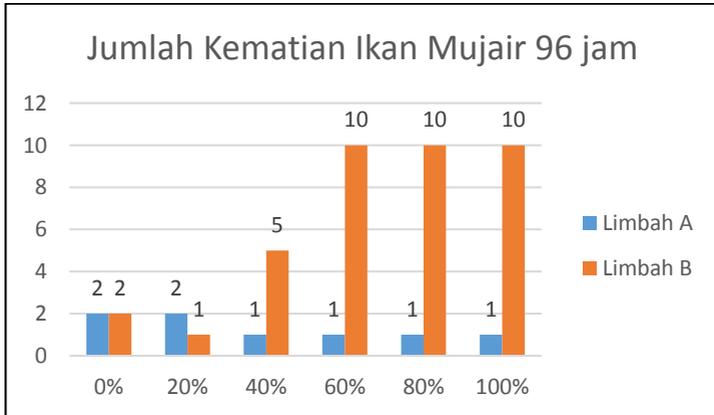
1. Belum adanya pengolahan limbah cair industri marmer secara efektif agar tidak mencemari lingkungan sekitar. Masyarakat masih memanfaatkan limbah marmer secara manual sebagai pelengkap bahan bangunan.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengukuran parameter lain dalam tubuh biota uji untuk mengetahui jika parameter tersebut mempengaruhi kematian biota.
3. Belum diketahui dampak dari konsumsi makhluk hidup yang telah terpapar limbah industri marmer. Sehingga masyarakat sekitar industri perlu berhati-hati dalam mengkonsumsi ikan dan tanaman air yang telah tercemar.

Dari beberapa saran tersebut, diperlukan penelitian lanjutan agar limbah cair industri marmer dapat bermanfaat bagi masyarakat di Tulungagung dan ramah lingkungan.

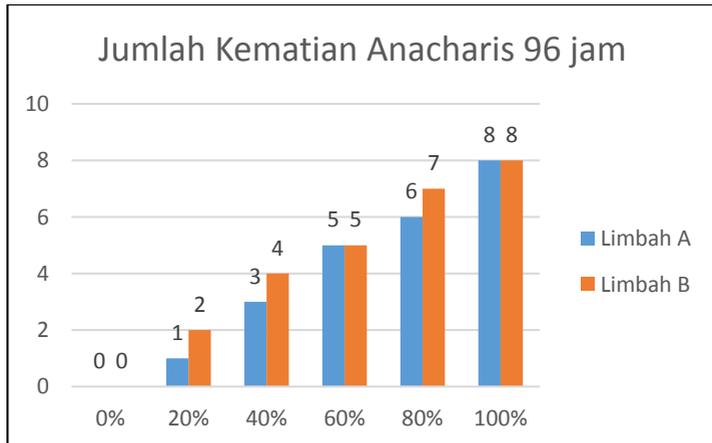
LAMPIRAN A

Data Range Finding Test (RFT)

a. Jumlah Kematian Biota Uji

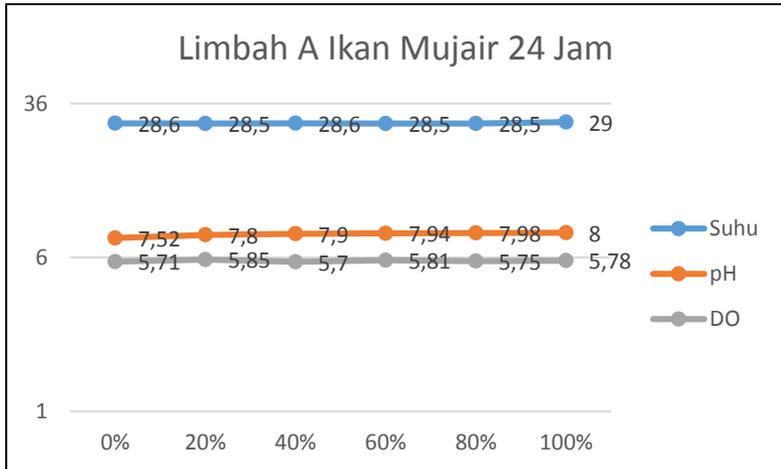


Sumber : Hasil Penelitian

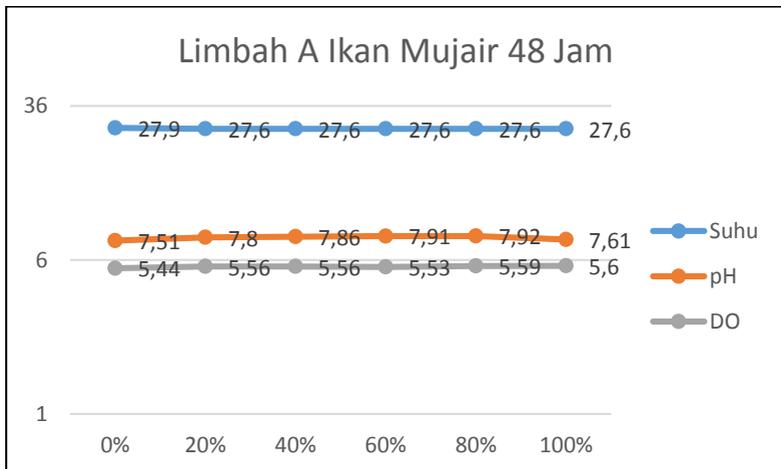


Sumber : Hasil Penelitian

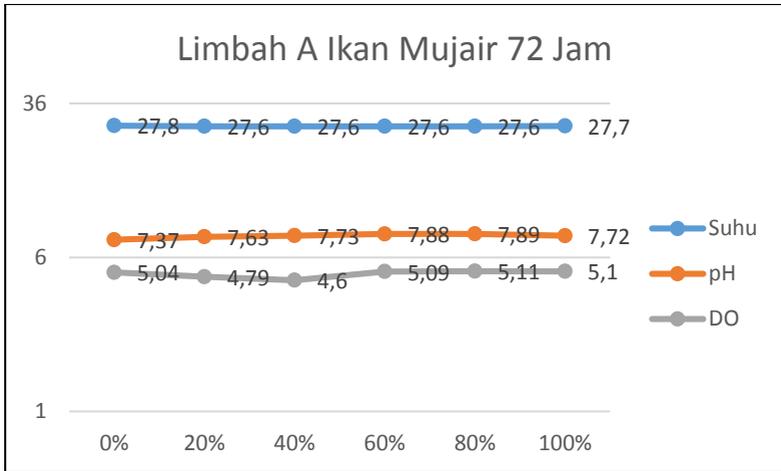
b. Parameter Harian Limbah Pemotongan Mamer (A)



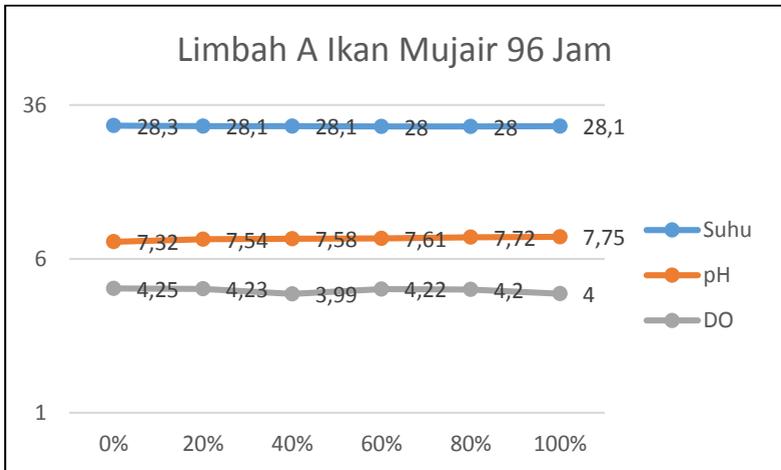
Sumber : Hasil Penelitian



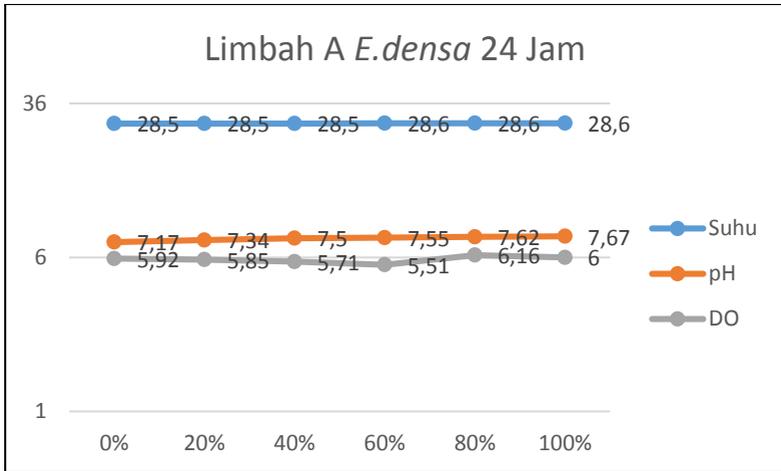
Sumber : Hasil Penelitian



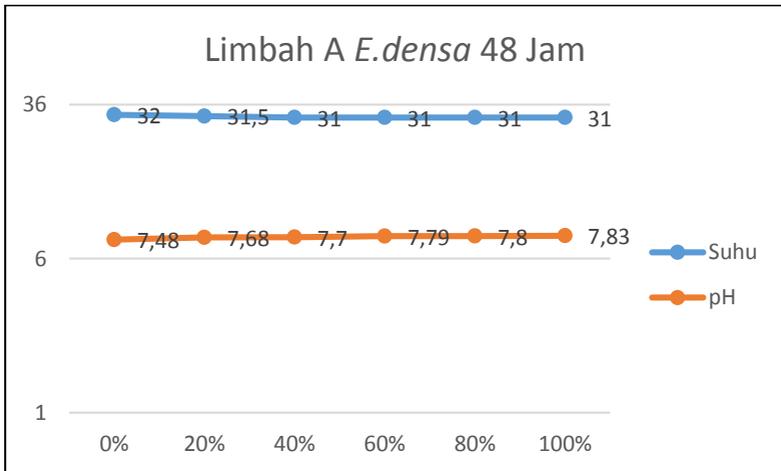
Sumber : Hasil Penelitian



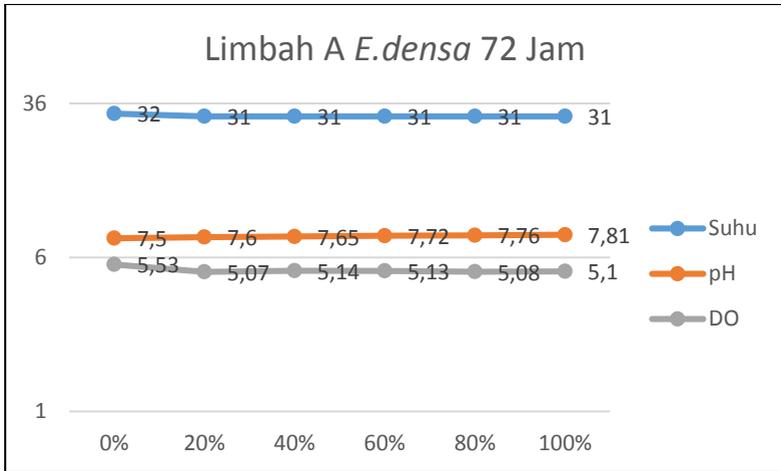
Sumber : Hasil Penelitian



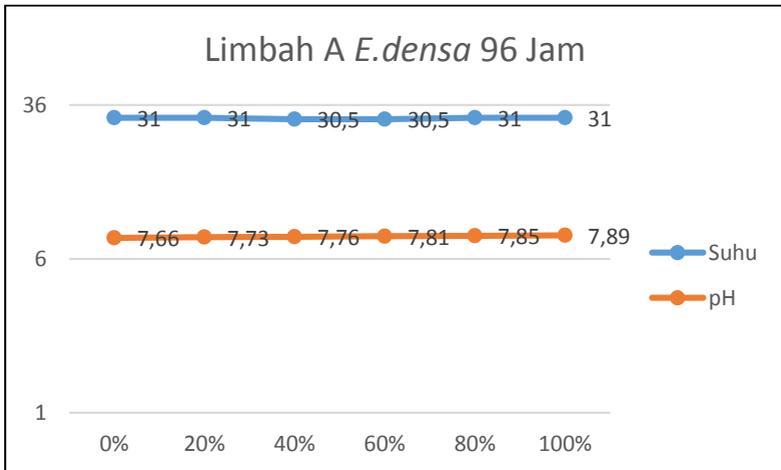
Sumber : Hasil Penelitian



Sumber : Hasil Penelitian

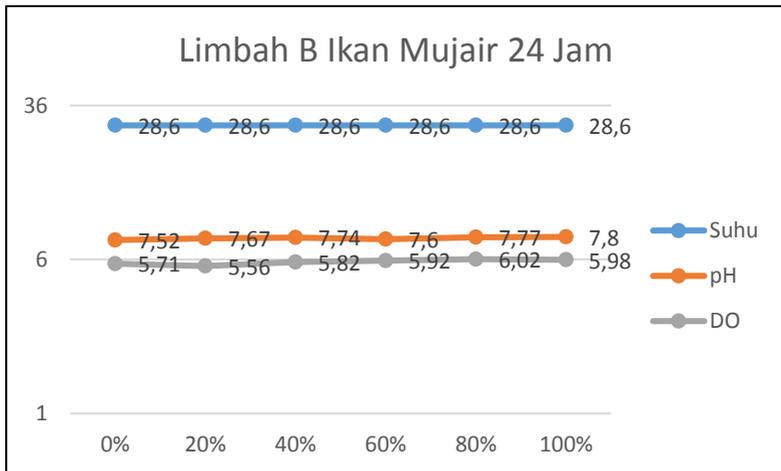


Sumber : Hasil Penelitian

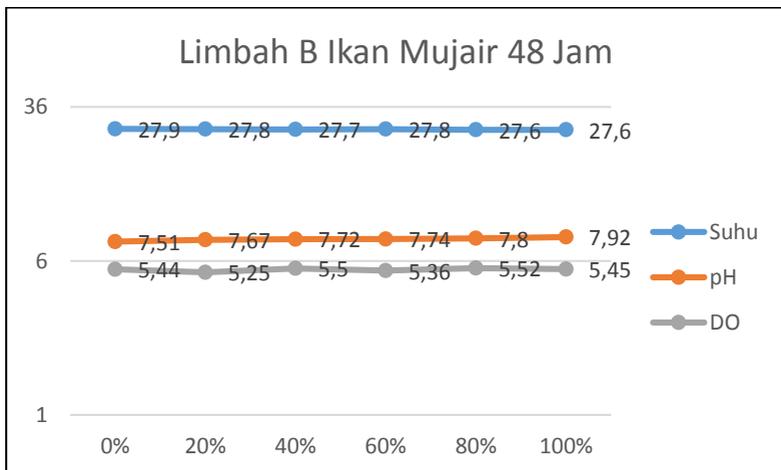


Sumber : Hasil Penelitian

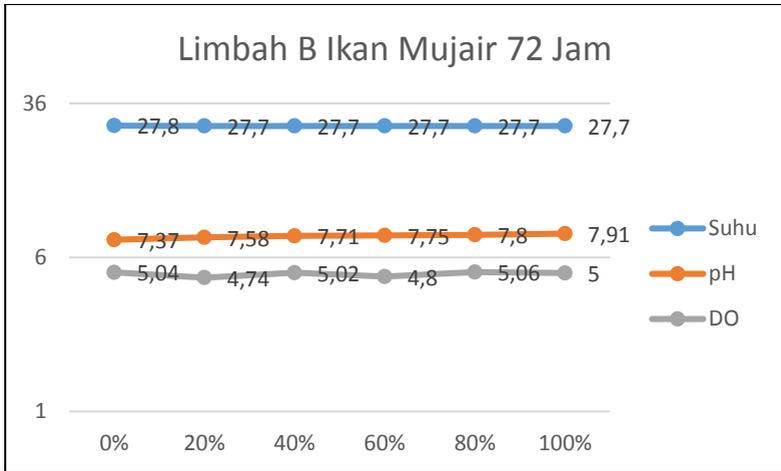
c. Parameter Harian Limbah Pemolesan Mamer (B)



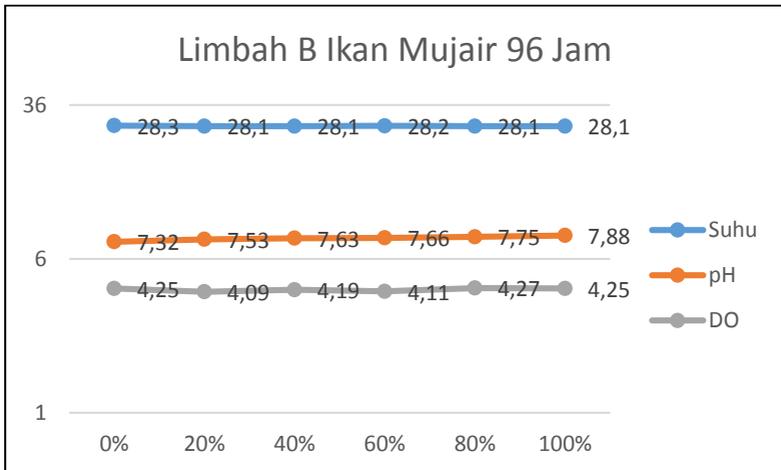
Sumber : Hasil Penelitian



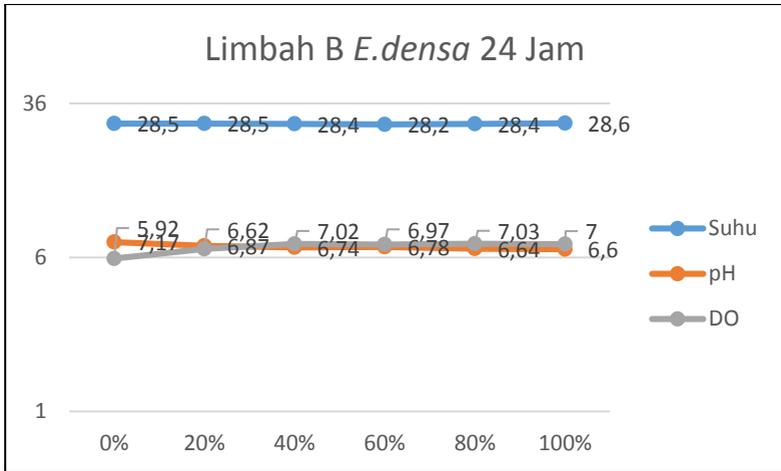
Sumber : Hasil Penelitian



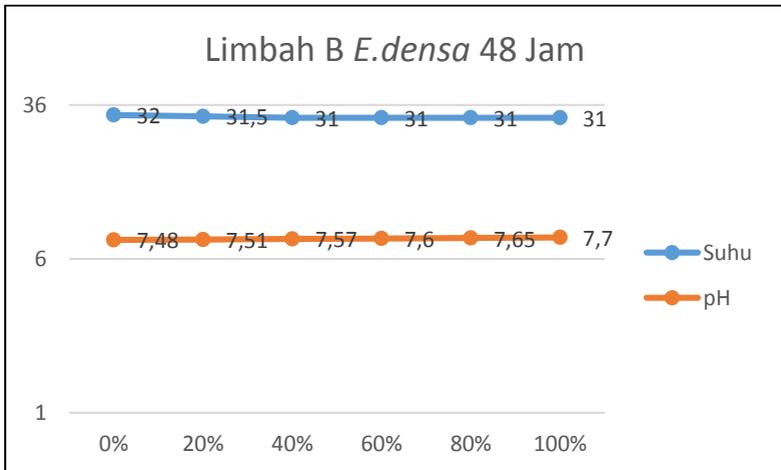
Sumber : Hasil Penelitian



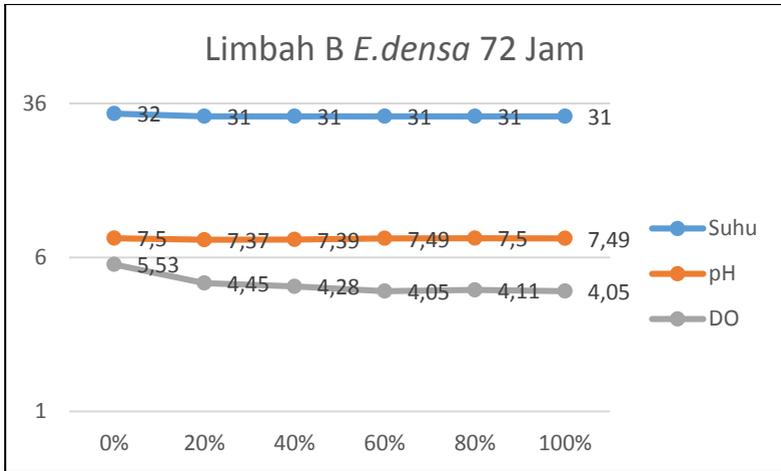
Sumber : Hasil Penelitian



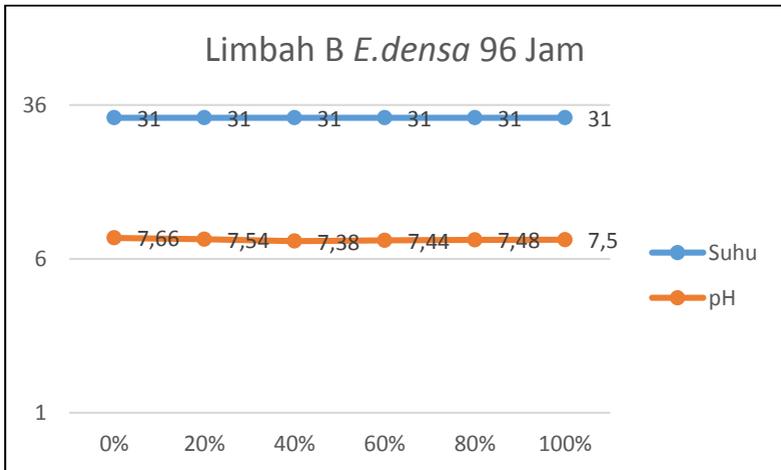
Sumber : Hasil Penelitian



Sumber : Hasil Penelitian



Sumber : Hasil Penelitian



Sumber : Hasil Penelitian

LAMPIRAN B
Data Uji Definitif 1

a. Jumlah Kematian Biota Uji

Konsentrasi Limbah A	Hari ke-				Kematian	% Kematian
	1	2	3	4		
Anacharis						
0%	0	0	0	0	0	0
12%	0	0	0	5	5	62,5
24%	0	0	0	6	6	75
36%	0	0	0	6	6	75
48%	0	0	0	6	6	75
60%	0	0	0	5	5	62,5

Sumber : Hasil Penelitian

Konsentrasi Limbah B	Hari ke-				Kematian	% Kematian
	1	2	3	4		
Ikan Mujair						
0%	1	2	1	0	4	40
12%	0	2	2	1	5	50
19%	0	2	1	2	5	50
26%	0	7	0	0	7	70
33%	0	4	0	2	6	60
40%	10	-	-	-	10	100
Anacharis						
0%	0	0	0	0	0	0
12%	0	0	0	3	3	37,5
19%	0	0	0	4	4	50

26%	0	0	0	5	5	62,5
33%	0	0	0	5	5	62,5
40%	0	0	0	7	7	87,5

Sumber : Hasil Penelitian

b. Parameter Harian Limbah Pemotongan Mamer (A)

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Anacharis	Suhu °C			
0%	32	31,5	31	31,5
12%	32	31,5	31	31
24%	32	31,5	31	31
36%	32	31	31	31
48%	32	31	31	31
60%	32	31	31	31,5

Sumber : Hasil Penelitian

Konsentrasi	pH hari ke -			
	1	2	3	4
Anacharis				
0%	7,48	7,68	7,8	7,91
12%	7,56	7,7	7,81	7,74
24%	7,59	7,77	7,86	7,88
36%	7,65	7,88	7,89	7,92
48%	7,7	7,93	7,91	7,98
60%	7,8	8	7,95	8,07

Sumber : Hasil Penelitian

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Anacharis	DO (mg/L)			
0%	5,78	5,59	5,22	5,05
12%	5,67	5,56	5,07	4,85
24%	5,42	5,33	5	4,59
36%	4,87	5,17	4,83	4,37
48%	4,44	5,04	4,77	4,2
60%	4,23	4,86	4,56	4

Sumber : Hasil Penelitian

c. Parameter Harian Limbah Pemolesan Mamer (B)

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair	Suhu °C			
0%	31	31	31	31
12%	32	31	31	31
19%	32	31	31	31
26%	32	31	31	31
33%	32	31	31	31
40%	32	-	-	-
Anacharis	Suhu °C			
0%	32	31	31,5	31
12%	32	31	31	31
19%	32	31	31	31
26%	32	31	31	31
33%	31,5	31	31	30,5
40%	31,5	31	31	30,5

Sumber : Hasil Penelitian

Konsentrasi	pH hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair				
0%	7,72	7,88	7,89	7,88
12%	7,12	8,11	7,98	7,8
19%	7,27	8,25	8,22	7,88
26%	7,4	8,28	8,25	7,98
33%	8,05	8,3	8,34	8,04
40%	8,11	-	-	-
Anacharis				
0%	7,48	7,68	7,91	7,91
12%	7,13	7,43	7,57	7,55
19%	6,96	7,32	7,52	7,6
26%	6,84	7,25	7,47	7,43
33%	6,74	7,09	7,31	7,39
40%	6,55	6,96	7,29	7,36

Sumber : Hasil Penelitian

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair				
DO (mg/L)				
0%	5,7	5,54	5	4,29
12%	5,52	5,29	4,67	4,17
19%	5,67	5,49	4,91	4,19
26%	5,89	5,33	4,8	4,11
33%	6	5,45	5,04	4,28
40%	5,88	5,4	4,98	4,31
Anacharis				
DO (mg/L)				
0%	5,78	5,59	5,22	5,05
12%	5,49	5,23	5,11	5
19%	5,24	5,08	4,83	4,83

26%	5,06	4,83	4,63	4,74
33%	4,89	4,66	4,28	4,55
40%	4,76	4,45	4,13	4,09

Sumber : Hasil Penelitian

LAMPIRAN C
Data Uji Definitif 2

a. Jumlah Kematian Biota Uji

Konsentrasi Limbah A	Hari ke-				Σ Kematian	% Kematian
	1	2	3	4		
Anacharis						
0%	0	0	0	4	4	50
12%	0	0	0	4	4	50
24%	0	0	0	4	4	50
36%	0	0	0	3	3	37,5
48%	0	0	0	5	5	62,5
60%	0	0	0	3	3	37,5

Sumber : Hasil Penelitian

Konsentrasi Limbah B	Hari ke-				Σ Kematian	% Kematian
	1	2	3	4		
Ikan Mujair						
0%	0	1	1	1	3	30
12%	0	0	0	2	2	30
19%	0	0	0	2	2	30
26%	0	4	0	1	4	40
33%	2	3	0	0	5	50
40%	8	0	0	1	9	90
Anacharis						
0%	0	0	0	4	4	50
12%	0	0	0	6	6	75
19%	0	0	0	5	5	62,5
26%	0	0	0	4	4	50

33%	0	0	0	6	6	75
40%	0	0	0	7	7	87,5

Sumber : Hasil Penelitian

b. Parameter Harian Limbah Pemotongan Mamer (A)

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Anacharis	Suhu °C			
0%	31	31	32	32
12%	31	31	32	31
24%	31	31	32	31
36%	31	31	31	31
48%	31	31	31	31
60%	31	31	31	31

Sumber : Hasil Penelitian

Konsentrasi	pH hari ke -			
	1	2	3	4
Anacharis				
0%	7,52	7,61	8	8,11
12%	7,54	7,65	8,02	8,15
24%	7,61	7,7	8,05	8,23
36%	7,66	7,74	8,09	8,27
48%	7,71	7,77	8,12	8,31
60%	7,74	7,78	8,14	8,33

Sumber : Hasil Penelitian

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Anacharis	DO (mg/L)			
0%	5,69	5,43	5,21	5,07
12%	5,67	5,31	5,1	5,02
24%	5,5	5,29	5	4,91
36%	5,21	5,17	4,92	4,78
48%	5,01	4,98	4,85	4,63
60%	4,87	4,86	4,66	4,59

Sumber : Hasil Penelitian

c. Parameter Harian Limbah Pemolesan Mamer (B)

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair	Suhu °C			
0%	31	31	31,5	31,5
12%	31	31	31,5	31
19%	31	31	31,5	31
26%	31	31	31	31
33%	31	31	31	31
40%	31	31	31	31
Anacharis	Suhu °C			
0%	31	31	31	31
12%	31	31	31	31
19%	31	31	31	31
26%	31	31	31	31
33%	31	31	31	31
40%	31	31	31	31

Sumber : Hasil Penelitian

Konsentrasi	pH hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair				
0%	7,88	8,09	8,12	8,15
12%	7,57	7,8	8,06	8,11
19%	7,75	8,1	8,12	8,24
26%	8,07	8,19	8,18	8,3
33%	8,1	8,28	8,19	8,39
40%	8	8,02	8,21	8,4
Anacharis				
0%	7,52	7,61	8	8,11
12%	7,11	7,39	7,71	7,79
19%	6,9	7,21	7,81	7,81
26%	6,84	7,19	7,83	7,85
33%	6,82	7,18	7,88	7,96
40%	6,81	7,17	7,92	8,07

Sumber : Hasil Penelitian

Konsentrasi	Hari ke -			
	1	2	3	4
Ikan Mujair				
DO mg/L				
0%	5,67	5,6	5,06	4,82
12%	5,5	5,48	4,78	4,78
19%	5,61	5,46	4,91	4,89
26%	5,92	5,33	4,8	4,6
33%	6,03	5,45	5,08	4,54
40%	5,97	5,21	5	4,31
Anacharis				
DO mg/L				
0%	5,69	5,43	5,21	5,07

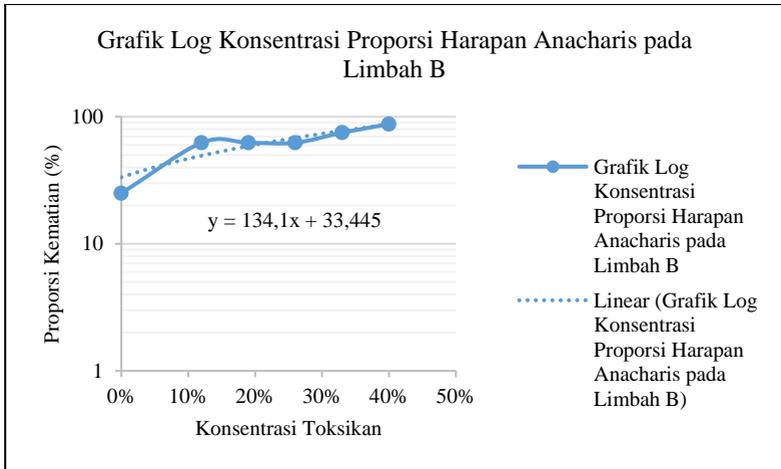
12%	5,5	5,23	5,11	5
19%	5,2	5,03	4,87	4,96
26%	5	4,9	4,6	4,81
33%	4,89	4,78	4,21	4,78
40%	4,8	4,51	4,1	4,69

Sumber : Hasil Penelitian

d. Perhitungan Proporsi Kematian Anacharis pada Limbah B dengan Metode LC₅₀

Konsentra si	Hari ke-				Σ Kemati an	R	R H	R- RH	Chi ²
	1	2	3	4					
Anacharis									
0%	0	0	0	2	2	25	33	8	0,3
12%	0	0	0	5	5	63	50	13	0,55
19%	0	0	0	5	5	63	59	4	0,006
26%	0	0	0	5	5	63	68	6	0,1
33%	0	0	0	6	6	75	78	3	0,0045
40%	0	0	0	7	7	88	87	1	0,001

Sumber : Hasil Perhitungan

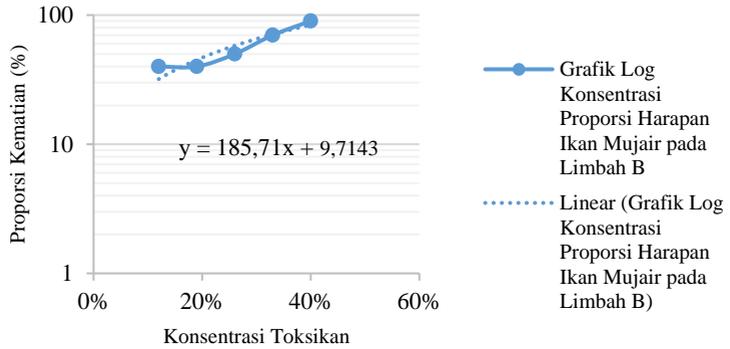


e. Perhitungan Proporsi Kematian Ikan Mujair pada Limbah B dengan Metode LC_{50}

Konsentrasi	Hari ke-				Σ Kematian	R	R H	R- R H	Chi ²
	1	2	3	4					
Ikan Mujair									
0%	1	2	1	1	0	0	0	0	0,0
12%	0	1	1	2	4	40	32	8	0,100
19%	0	1	1	2	4	40	45	5	0,01
26%	0	4	0	1	5	50	58	8	0,25
33%	1	4	0	2	7	70	71	1	0,001
40%	9	0	0	0	9	90	84	6	0,25

Sumber : Hasil Perhitungan

Grafik Log Konsentrasi Proporsi Harapan Ikan Mujair pada Limbah B



LAMPIRAN D

Metode Analisa

1. ANALISA COD

I. Bahan dan Alat :

- a. Larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$)
- b. Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat (H_2SO_4)
- c. Larutan Standart Fero Amonium Sulfat 0,05 N
- d. Larutan Indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin)
- e. Buret 50 mL 1 buah
- f. Erlenmeyer COD 2 buah
- g. Alat refluks dan pemanasnya
- h. Pipet 10 mL, 5 mL
- i. Beker glass 50 mL 1 buah

II. Proses Percobaan :

- a. Masukkan 0,4 gr kristal Hg_2SO_4 ke dalam masing-masing erlenmeyer COD.
- b. Tuangkan 20 ml air sampel air aquadest (sebagai blanko) ke dalam masing-masing erlenmeyer COD.
- c. Tambahkan 10 ml larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N.
- d. Tambahkan 30 ml larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
- e. Alirkan air pendingin pada kondensor dan pasang erlenmeyer COD.
- f. Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
- g. Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air aquadest melalui kondensor sampai volume 150 ml.
- h. Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
- i. Tambahkan 3-4 tetes indikator feroin.

- j. Titrasi kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standart Fero Amonium Sulfat 0,05 N hingga warna menjadi merah-coklat.
- k. Hitung COD sampel dengan rumus sebagai berikut:

$$COD \left(\frac{mg}{l} O_2 \right) = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{vol. sampel} \times f \times p$$

Dimana : a = ml FAS titrasi blanko

b = ml FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

f = faktor (20 : titran blanko kedua)

p = pengenceran

(Sumber : Hermana et al., 2006).

2. ANALISA BOD₅ DENGAN WINKLER

I. Bahan dan Alat :

- a. Larutan Mangan Sulfat
- b. Larutan Pereaksi Oksigen
- c. Indikator Amilum 0,5 %
- d. Asam Sulfat pekat
- e. Larutan Standart Natrium Tiosulfat 0,0125 N
- f. Drum atau ember untuk air pengencer
- g. Botol winkler 300 mL 2 buah
- h. Botol winkler 150 mL 2 buah
- i. Inkubator dengan suhu 20⁰C
- j. Labu takar 500 mL 1 buah
- k. Pipet 10 mL, 5 mL
- l. Gelas ukur 100 mL 1 buah
- m. Buret 25 mL atau 50 mL
- n. Erlenmeyer 250 mL 1 buah

II. Air Pengencer :

- a. Larutan Buffer Fosfat
- b. Larutan Magnesium Sulfat
- c. Larutan Kalium Klorida

- d. Larutan Feri Klorida
- e. Bubuk Inhibitor Nitrifikasi
- f. Benih atau inoculum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gr diencerkan dengan 100 mL air
- g. Aerator

III. Proses Percobaan :

- a. Siapkan 1 buah labu takar 500 ml dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
- b. Siapkan 2 buah botol Winkler 300 ml dan 2 buah botol winkler 150 ml.
- c. Tuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 ml dan 150 ml sampai tumpah.
- d. Tuangkan air pengencer ke botol winkler 300 ml dan 150 ml sebagai blanko sampai tumpah.
- e. Masukkan kedua botol winkler 300 ml ke dalam inkubator 20⁰C selama 5 hari.
- f. Kedua botol winkler 150 ml yang berisi air dianalisa oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 ml larutan Mangan Sulfat
 - Tambahkan 1 ml larutan pereaksi Oksigen
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara, lalu dibolak-balik beberapa kali.
 - Biarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit.
 - Tambahkan 1 ml asam sulfat pekat, tutup dan bolak-balik.
 - Tuangkan 100 ml larutan ke dalam erlenmeyer 250 ml.
 - Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda.

- Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan natrium tiosulfat hingga warna biru hilang.
- g. Setelah 5 hari, analisa kedua larutan dalam botol winkler 300 ml dengan analisa oksigen terlarut.
- h. Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus sebagai berikut :

$$OT \text{ (mg O}_2\text{/l)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ ml}}$$

$$BOD_5^{20} \text{ (mg/l)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{\text{ml sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 ml)}}$$

Dimana : X_0 = oksigen terlarut sampel pada $t = 0$

X_5 = oksigen terlarut sampel pada $t = 5$

B_0 = oksigen terlarut blanko pada $t = 0$

B_5 = oksigen terlarut blanko pada $t = 5$

P = derajat pengenceran

(Sumber : Hermana et al., 2006).

3. ANALISA TSS

I. Bahan dan Alat :

- a. Furnace dengan suhu 550°C
- b. Oven dengan suhu 105°C
- c. Cawan porselin 50 mL
- d. Timbangan analitis
- e. Desikator
- f. Cawan petridis
- g. Kertas saring
- h. Vacuum filter

II. Proses Percobaan :

- a. Cawan porselin dibakar dengan suhu 550⁰C selama 1 jam, setelah itu masukkan ke oven 105⁰C selama 15 jam.
- b. Masukkan kertas saring ke oven 105⁰C selama 1 jam.
- c. Cawan dan kertas saring di atas dinginkan dalam desikator selama 15 menit.
- d. Timbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e mg).
- e. Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada vacum filter.
- f. Tuangkan 25 ml sampel di atas filter yang telah dipasang pada vacum filter, volume sampel yang digunakan ini tergantung dari kepekatannya, catat volume sampel (g ml).
- g. Saring sampel sampai kering atau airnya habis.
- h. Letakkan kertas saring pada cawan petridis dan masukkan ke oven 105⁰C selama 1 jam.
- i. Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit.
- j. Timbang dengan timbangan analitis (f mg).
- k. Hitung jumlah zat padat tersuspensi dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Zat padat tersuspensi (mg/l)} = \frac{(f-e)}{g} \times 1000 \times 1000$$

Dimana : e = cawan kosong setelah difurnace 550⁰C dan di oven 105⁰C.

f = cawan dan residu setelah di oven 105⁰C.

g = volume sampel.

(Sumber : Hermana et al., 2006).

4. ANALISA KALSIUM

I. Bahan dan Alat :

- a. Bubuk indikator Murexid
- b. Laruan Buffer pH 12
- c. Larutan EDTA 0,0357 N

- d. Erlenmeyer 100 mL 1 buah
- e. Buret 25 mL atau 50 mL
- f. Pipet 25 mL, 10 mL.

II. Proses Percobaan :

- a. Tuangkan 25 ml sampel air ke dalam erlenmeyer 100 ml.
- b. Tambahkan 1 spatula (0,5 gr) bubuk indikator Murexid.
- c. Tambahkan 2,5 ml buffer pH 12.
- d. Titrasi dengan larutan EDTA sehingga ada perubahan warna dari warna biru menjadi warna ungu.
- e. Catat hasil titrasi di atas dan hitung dengan rumus kesadahan Ca^{2+} berikut ini :

$$\text{Kalsium (mg/L CaCO}_3) = \frac{1000}{\text{vol.sampel}} \times a \times N \times 50$$

(Sumber : *Hermana et al., 2006*).

LAMPIRAN E
Foto dan Gambar

a) Aklimatisasi



Anacharis



Ikan Mujair



DO meter merek Eutech Instrument tipe Cvberscan. serial no. 914956.



Reaktor Uji



Ikan Mujair



Pasir Lumajang (Media tanam)

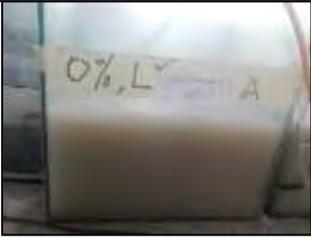


pH meter Denver Instrument



Aerator merek Amara tipe AA-350

b) Range Finding Test

Deskripsi	Foto dengan Biota Uji Ikan Mujair	
	Limbah A	Limbah B
Kontrol		
20%		

40%		
60%		
80%		
100%		

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Deskripsi	Foto dengan Biota Uji Anacharis	
	Limbah A	Limbah B
Kontrol	 A clear rectangular tank containing a dense network of green, feathery Anacharis plants growing from a dark substrate.	 A rectangular tank containing a sparse cluster of green Anacharis plants in a dark substrate.
20%	 A rectangular tank with a light-colored, sandy substrate. A few small, sparse green plants are visible.	 A rectangular tank with a light-colored, sandy substrate. A few small, sparse green plants are visible.
40%	 A rectangular tank with a light-colored, sandy substrate. A few small, sparse green plants are visible.	 A rectangular tank with a light-colored, sandy substrate. A few small, sparse green plants are visible.

60%		
80%		
100%		

c) Uji Definitif 1

Limbah B	Foto Ikan Mujair	
Kontrol	 A clear, dark water sample in a square container, representing the control group.	 Two healthy-looking fish resting on a pink surface, representing the control group.
12%	 A brownish, turbid water sample in a square container, representing the 12% waste treatment group.	 Two fish resting on a pink surface, representing the 12% waste treatment group.
19%	 A brownish, turbid water sample in a square container, representing the 19% waste treatment group.	 One fish resting on a pink surface, representing the 19% waste treatment group.

26%		
33%		
40%		

Limbah B	Foto Anacharis	
Kontrol		
12%		
19%		

26%		
33%		
40%		

Limbah A	Foto Anacharis	
12%		
24%		
36%		

48%		
60%		



d) Uji Definitif 2

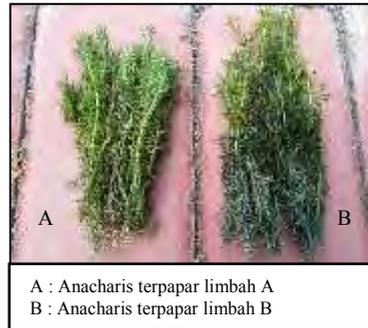
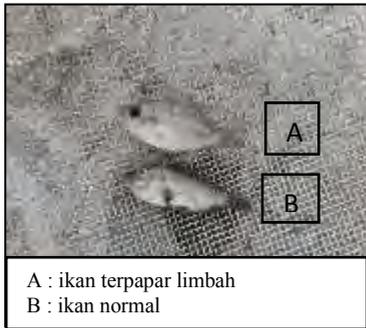
Limbah B	Foto Ikan Mujair	
Kontrol	 A photograph showing a clear, dark water environment in a rectangular container. A white tube is visible at the bottom right corner. The water is clear, and the background is dark.	 A photograph showing a clear, dark water environment in a rectangular container, similar to the left view. A white tube is visible at the bottom right corner. The water is clear, and the background is dark.
12%	 A photograph showing a rectangular container with a white tube at the bottom right. The water is a light brown color, indicating the presence of waste. The background is dark.	 A photograph showing a rectangular container with a white tube at the bottom right. The water is a light brown color, indicating the presence of waste. The background is dark.
19%	 A photograph showing a rectangular container with a white tube at the bottom right. The water is a light brown color, indicating the presence of waste. The background is dark.	 A photograph showing a rectangular container with a white tube at the bottom right. The water is a light brown color, indicating the presence of waste. The background is dark.

26%		
33%		
40%		

Limbah B	Foto Anacharis	
Kontrol		
12%		
19%		

26%		
33%		
40%		

Limbah A	Foto Anacharis	
12%		
24%		
36%		
48%		





JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS
TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI

KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, TELP. (031) 5912939 FAX. (031) 599242

KETERANGAN HASIL ANALISA

No.158-TAR/VA/2014

Terrima dari: **Sdr. Narega**
Mtu. T. Lingkungan FTSP-ITS
Sumbawa
Jenis contoh: **Tanaman dan Rant**
Uraian: **K**
Tanggal uji: **21 Mei 2014**

Kode contoh	Hasil analisa	Metode analisa
	K ppm	
Limbah A 60% (Peebelvort)	1294	K (Plamphosmetri)
Limbah B 40% (AnelelaeRS)	1992	
Kontrol Anachara	3260	
Majal (Verbeul)	946	
Majar 40% B	2153	



Keterangan: Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima

Prof. Dr. Ir. Achmad Roesadi, DEA
Kordinator Laboratorium TAR2



KETERANGAN HASIL ANALISA

No. 151/FAK/03/14

Tema dan Sdr. Narega
Mhs. T. Lingkaras FTSP-ITS
Sarataya
Jenis contoh Air
Kode contoh A - Limbah Marmar proses perolehan
B - Limbah samper proses perolehan
Uraian K
Tanggal 30 April 2014

Parameter	Satuan	Hasil analisa		Metode analisa
		A	B	
K	ppm	3,75	13	AAS

Keterangan: Hasil analisis tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima





JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS
TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI

KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA. TELE. (031) 5972935 (FAX. 031) 5999282

KETERANGAN HASIL ANALISA

No.750.TAKLIV/2014

Toransi dari : Sdr. Narega
Mhs. T.Lingkungan FTSP-ITS
Surabaya
Jenis contoh : Air
Kode contoh : A =Limbah Murni jenis pencemaran
B =Limbah murni proses pencemaran
Uraian : K
Dibuat tanggal : 06. Mei 2014

Parameter	Satuan	Hasil analisis		Metode analisa
		A	B	
Fe	ppm	4,45	00,30	AAS

Keterangan:



Penyedia data terdapat di atas berdasarkan contoh yang kami terima

Dr. S. D. P. Ahmad Moesandil, DEA
Ketua Tim



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

KAMPUS ITS SEROKILO SURABAYA
TELEPON 031594886, FAX. 0315928307

DATA ANALISA AIR

Dikirim Oleh Sri Narega
Dikirim Tanggal 10 April 2014
Sampel Dari Air Limbah

No	Kode Sampel	Hasil Analisa TSS	Hasil Analisa COD (mg/L O ₂)	Hasil Analisa BOD (mg/L O ₂)	Hasil Analisa Kalsium (mg/L Ca)
1	A	26.000,00	510,00	148,00	32.142,86
2	B	81.250,00	5.593,00	1.760,00	30.357,14
Metoda Analisa		Gravimetri	Reflaksi	Winkler	Kompleksometri

Sampel No. 22 April 2014
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS

Prof. Dr. Ir. Nieke Katusningroen, MSc
NIP-195807281985032001

Catatan:
- Laporan ini dibuat untuk duplikan air yang diterima laboratorium kami



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

KAMPUS ITS SUKOLOLO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5923087

DATA ANALISA AJR

Dikirim Oleh Sri.Negara
Dikirim Tanggal 02 Mei 2014
Sampel Dari Air Limbah

No	Kode Sampel	Hasil Analisa TSS	Hasil Analisa COD (mg/L _{O₂})	Hasil Analisa BOD (mg/L _{O₂})	Hasil Analisa Kalsium (mg/L Ca)
1	A	81.18000	635,00	310,00	37.678,57
2	B	91.750,00	2.593,00	1.610,00	35.301,90
Metoda Analisa:		Gravimetri	Refleksi	Winkler	Kompleksometri

Surabaya, 23 Mei 2014
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS

Catatan
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air
yang diterima laboratorium kami


Prof. Dr. Ir. Niche Karnaningrum, MSc.
NIP. 195501281985032001



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

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5940306, FAX: (031)5928387

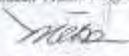
DATA ANALISA AIR

Dikirim Oleh Sdri. Narega
Dikirim Tanggal 16 Mei 2014
Sampel Dari Air Limbah

No	Kode Sampel	Hasil Analisa TSS	Hasil Analisa COD (mg/L O ₂)	Hasil Analisa BOD (mg/L O ₂)	Hasil Analisa Kalsium (mg/L Ca)
1	A	109.800,00	723,00	578,00	25.214,29
2	B	156.380,00	10.058,00	6.438,00	18.214,29
Metoda Analisis		Gravimetri	Refluks	Winkler	Kompleksometri

Surabaya, 23 Mei 2014
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS

Catatan
- Laporan ini dibuat untuk keperluan
yang diterima laboratorium kami


Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.
NIP. 195501281985032001



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

KAMPUS ITS SUKOLO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA CUPLIKAN

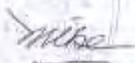
Dikirim Oleh
Dikirim Tanggal
Sampel Dari

Satri Narega
21 Mei 2014
Ikan

No	Kode Sampel	Hasil Analisa Kalsium (% Ca)
1	Ikan Kontrol	0,931
2	Ikan 33 % B	1,200
Metoda Analisa		Kompleksometri

Surabaya, 25 Mei 2014
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS

Catatan:
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan yang
diterima laboratorium kami


Prof. Dr. Ir. Nieko Karnaningroem, MS.
NIP. 195501281985032001