

repository.ub.ac.id

UJI TOKSISITAS AKUT (LC<sub>50-96 JAM</sub>) LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT  
TERHADAP KEPADATAN *Chlorella vulgaris* PADA BAK-BAK PERCOBAAN

SKRIPSI  
PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN  
JURUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN

Oleh :

LAILATUS SILFIYAH  
NIM. 125080101111001



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2016

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

**UJI TOKSISITAS AKUT (LC<sub>50-96 JAM</sub>) LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT  
TERHADAP KEPADATAN *Chlorella vulgaris* PADA BAK-BAK PERCOBAAN**

**SKRIPSI  
PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN  
JURUSAN MANAJEMEN S  
UMBER DAYA PERAIRAN**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Perikanan  
di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan  
Universitas Brawijaya**

**Oleh :**

**LAILATUS SILFIYAH  
NIM. 125080101111001**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2016**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

UJI TOKSISITAS AKUT (LC<sub>50-96 JAM</sub>) LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT TERHADAP KEPADATAN *Chlorella vulgaris* PADA BAK-BAK PERCOBAAN

Oleh :

LAILATUS SILFIYAH  
NIM. 125080101111001

telah dipertahankan didepan penguji  
pada tanggal : 20 Juni 2016  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Penguji I

Dr. Ir. MUHAMMAD MUSA, MS  
NIP. 19570507 198602 1 002

Tanggal : 24 JUN 2016

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. UMI ZAKIYAH, M.Si  
NIP. 19610303 198602 2 001

Tanggal : 24 JUN 2016

Dosen Penguji II

Prof. Ir. YENNY RISJANI, DEA, Ph.D  
NIP. 19610523 198703 2 003

Tanggal : 24 JUN 2016

Dosen Pembimbing II

ANDI KURNIAWAN, S.Pi., M.Eng., D.Sc  
NIP. 19790331 200501 1 003

Tanggal : 24 JUN 2016

Mengetahui,  
Ketua Jurusan MSP



Dr. Ir. ARNING WILUJENG EKAWATI, MS  
NIP. 19620805 198603 2 001

Tanggal : 24 JUN 2016



## PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam laporan skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan laporan ini hasil penjiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 18 April 2016

Mahasiswa

Lailatus Silfiah



## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah berkehendak atas segala kelancaran dan kemudahan yang diberikan dalam penyelesaian laporan skripsi ini.
2. Orang tua (Ayah dan Ibu), Adik serta keluarga tercinta yang telah memberikan doa, dukungan dan materi sehingga laporan skripsi ini dapat selesai dengan baik.
3. Ibu Dr. Ir. Umi Zakiyah, M.Si. dan Bapak Andi Kurniawan, S.Pi., M.Eng., D.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, petunjuk dan pengarahan dalam penyusunan laporan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Musa, MS dan Ibu Prof. Ir. Yenny Risjani, DEA, Ph.D selaku dosen penguji yang telah bersedia menjadi dosen penguji dari penulis dalam ujian skripsi ini.
5. Direktur RSUD Dr. Saiful Anwar Malang, dr. Achmad Djaelani selaku wakil direktur pendidikan dan pengembangan profesi, Ibu Sri Endah Noviani, SH, M.Sc selaku Kepala Bidang Pendidikan dan Penelitian, dan Ibu Siti Umi Ernawati, SKM., MM selaku kepala instalansi penyehatan lingkungan.
6. Bapak Hari selaku kepala laboratorium, Bapak Sugi selaku kepala pengelolaan limbah, dan pak Yasin selaku staf pegawai.
7. Yulia Susanti, Sitti Sholehah, dan Winda Kurnia Apriani (MSP'12), serta teman-teman MSP'12 dan semua pihak yang membantu dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.

Malang, 18 April 2016

Penulis

## RINGKASAN

**LAILATUS SILFIYAH.** Laporan Skripsi tentang uji toksisitas akut ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* pada bak-bak percobaan (dibawah bimbingan **Dr. Ir. Umi Zakiyah, M.Si** dan **Andi Kurniawan, S.Pi., M.Eng., D.Sc**)

---

---

Limbah rumah sakit berbentuk padat dan cair dan mengandung bahan berbahaya dan beracun (Limbah B3). Limbah cair rumah sakit khususnya memiliki bahan organik tinggi, dan mengandung senyawa radioaktif dan unsur logam berat beracun. Selain itu limbah cair rumah sakit mengandung BOD, COD, TSS,  $NH_3$  bebas, fosfat, fenol dan bakteri *coliform* tinggi yang apabila dibuang langsung ke perairan tanpa pengolahan ataupun pengolahan yang kurang efektif akan menimbulkan penurunan kualitas air dan terganggunya kehidupan organisme air. Tingginya volume limbah cair yang dihasilkan pada aktifitas rumah sakit akan menyebabkan permasalahan lingkungan perairan jika besarnya buangan limbah cair melebihi kapasitas daya dukung lingkungan perairan.

Salah satu organisme yang berperan penting dalam rantai makan di perairan adalah *Chlorella vulgaris*. Limpasan limbah cair rumah sakit yang berlebihan ke perairan akan menyebabkan pencemaran air dan mengganggu pertumbuhan *Chlorella vulgaris*, sehingga kepadatannya berkurang. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu eksperimen untuk mengetahui berapa konsentrasi limbah yang berbahaya untuk kepadatan *Chlorella vulgaris* di perairan. Eksperimen tersebut disebut juga dengan uji toksisitas akut. Uji toksisitas akut ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ) digunakan untuk mengetahui berapa konsentrasi limbah cair rumah sakit yang menyebabkan 50% kematian organisme uji yaitu *Chlorella vulgaris* akibat terpapar bahan toksik yaitu limbah cair rumah sakit.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai  $LC_{50-96 \text{ jam}}$  limbah cair rumah sakit terhadap *Chlorella vulgaris*, mengetahui kepadatan *Chlorella vulgaris* setelah terpapar limbah cair rumah sakit serta mengetahui kualitas air (Intensitas cahaya, pH, suhu dan DO) pada media eksperimen. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen yaitu dengan mengadakan observasi di bawah kondisi buatan (*artificial condition*). Analisis data yang digunakan yaitu analisis probit menggunakan data statistik *Microsoft Excel* dan analisis statistik ANOVA menggunakan *software SPSS*. Penelitian ini dilakukan selama 1 bulan.

Penelitian ini terdiri dari 2 tahap yaitu uji pendahuluan dan uji sesungguhnya. Konsentrasi yang digunakan dalam uji pendahuluan sesuai dengan skala logaritmik (0%, 0,09%, 0,9%, 9% dan 90%) dengan pengulangan perlakuan sebanyak 2 kali. Uji sesungguhnya, konsentrasi diperoleh dari hasil uji pendahuluan yang dilihat pada skala logaritmik (0%, 1,215%, 2,16%, 3,78%, dan 6,75%) dengan pengulangan perlakuan sebanyak 3 kali. Parameter kualitas air yang diamati meliputi parameter fisika (suhu dan intensitas cahaya) serta parameter kimia (pH, dan DO). Pengukuran mortalitas harian *Chlorella vulgaris* dan kualitas air dilakukan setiap 8 jam sekali selama 96 jam.

Hasil uji toksisitas akut ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* selama 96 jam adalah mortalitas *Chlorella vulgaris* konsentrasi 0% sebesar 0%, konsentrasi 1,215% sebesar 47,06%, Konsentrasi 2,16% sebesar 63,37%, Konsentrasi 3,78% sebesar 86,90%, konsentrasi 6,75% sebesar 94,77%. Nilai  $LC_{50-96 \text{ jam}}$  yaitu sebesar 13,35 ml/l (1,335%). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi limbah cair rumah sakit yang diberikan maka persentase mortalitas *Chlorella vulgaris* yang dihasilkan juga semakin meningkat. Kisaran kualitas air yang diperoleh dalam penelitian

repository.ub.ac.id

tergolong kepada kisaran normal untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. Dimana kisaran intensitas cahaya berkisar 5835 – 5875 lux, suhu berkisar 29,7 – 30,7°C, pH berkisar 7,17 – 8,20, dan oksigen terlarut berkisar 5,02 – 6,10 mg/l. Oleh karena itu, penyebab kematian *Chlorella vulgaris* bukanlah karena kualitas air yang diukur tersebut.

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian adalah Nilai  $LC_{50-96jam}$  limbah cair rumah sakit sebesar 13,35 ml/l. Semakin besar konsentrasi limbah cair rumah sakit yang diberikan maka semakin besar pula presentase mortalitas dari *Chlorella vulgaris*. Kisaran kualitas air yang diperoleh dalam penelitian tergolong kepada kisaran normal untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris*.

Disarankan limbah cair rumah sakit yang masuk ke badan perairan tidak boleh melebihi nilai 13,35 ml/l. Oleh karena itu, sebaiknya perlu menerapkan IPAL khususnya pada rumah sakit yang belum terdapat IPAL. Kemudian lebih memperhatikan pengelolaan limbah pada rumah sakit yang telah memiliki IPAL khususnya limbah cair.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya yang terlimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi sebagai salah satu syarat kelulusan pada program S1 Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan dengan judul "*Uji Toksisitas Akut (LC<sub>50-96 Jam</sub>) Limbah Cair Rumah Sakit terhadap Kepadatan *Chlorella vulgaris* pada Bak-bak Percobaan*". Di dalam tulisan ini, diinformasikan tentang pokok-pokok bahasan mengenai penelitian skripsi.

Penulis menyadari bahwa terwujudnya laporan skripsi ini tidak lepas dari kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar tulisan ini bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Malang, 18 April 2016

Penulis

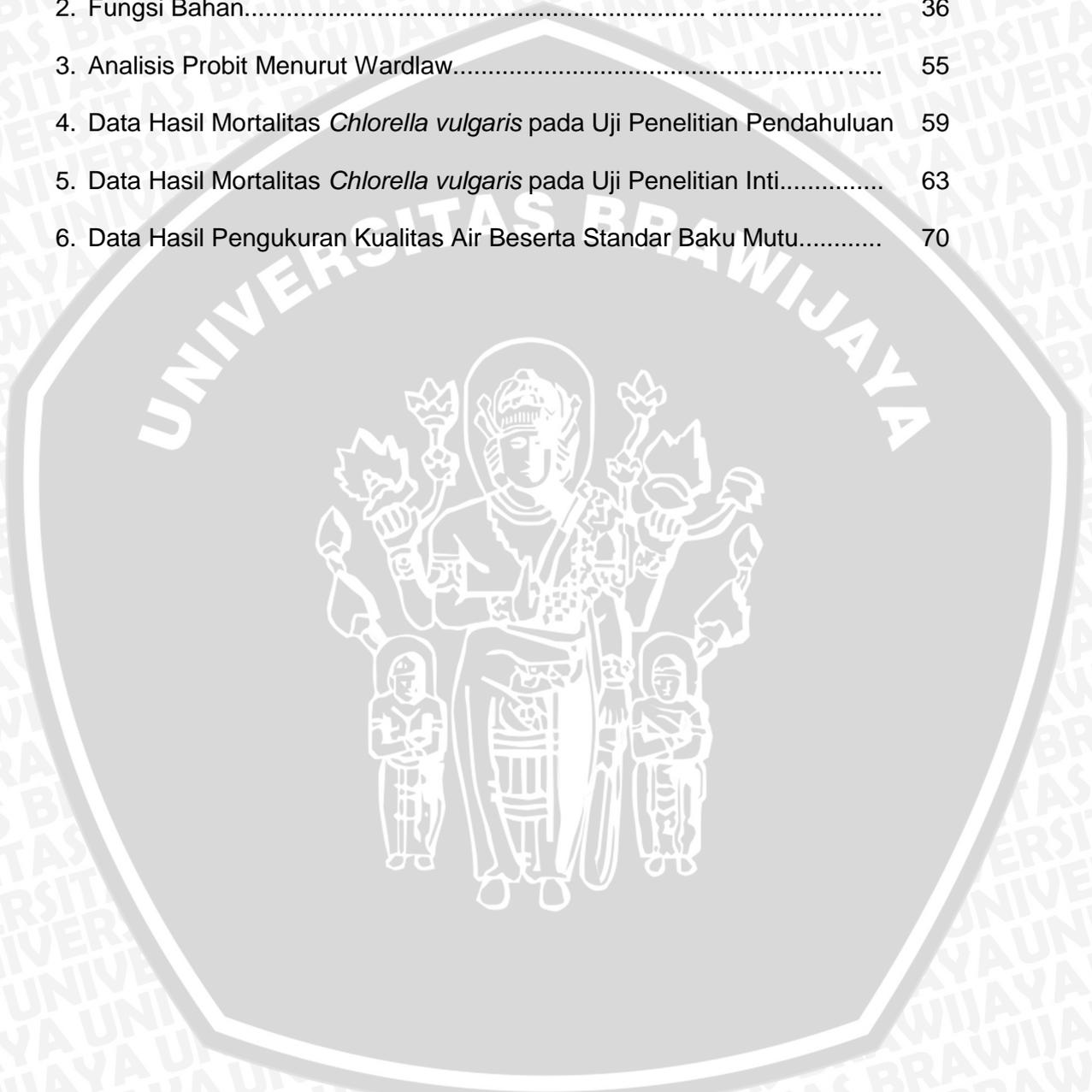
## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>RINGKASAN</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	7
1.4 Kegunaan.....	7
1.5 Tempat dan Waktu Penelitian.....	8
<b>2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	9
2.1 Limbah.....	9
2.2 Karakteristik dan Sumber Limbah Cair Rumah Sakit .....	11
2.2.1 Rumah Sakit.....	11
2.2.2 Limbah Cair Rumah Sakit.....	12
2.2.3 Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit.....	12
2.2.4 Sumber Limbah Cair Rumah Sakit.....	14
2.3 Dampak Pencemaran Limbah Cair Rumah Sakit.....	15
2.4 Toksisitas Limbah Cair Rumah Sakit.....	17
2.5 Uji Toksisitas .....	19
2.6 <i>Lethal Concentration</i> (LC <sub>50-96 jam</sub> ).....	21
2.7 <i>Chlorella vulgaris</i> .....	24
2.7.1 Klasifikasi <i>Chlorella vulgaris</i> .....	24
2.7.2 Morfologi <i>Chlorella vulgaris</i> .....	24
2.7.3 Fase Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> .....	27
2.8 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> .....	28
2.8.1 Intensitas Cahaya.....	28
2.8.2 Nutrient.....	29
2.8.3 Suhu.....	30
2.8.4 Derajat Keasaman (pH).....	31
2.8.5 <i>Disolved Oxigen</i> (DO).....	32
<b>3 MATERI DAN METODE PENELITIAN</b> .....	34
3.1 Materi Penelitian.....	34
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	34
3.2.1 Alat Penelitian .....	34
3.2.2 Bahan Penelitian.....	35
3.3 Metode Penelitian.....	36
3.3.1 Data .....	37

3.3.2 Teknik Pengukuran Data Penelitian.....	38
3.4 Penentuan Konsentrasi Perlakuan.....	38
3.5 Lokasi Pengambilan Sampel.....	40
3.6 Rancangan Penelitian.....	40
3.7 Tahapan Penelitian.....	41
3.7.1 Preparasi Penelitian .....	42
3.7.2 Uji Penelitian Pendahuluan.....	47
3.7.3 Uji Penelitian Sesungguhnya.....	48
3.8 Analisis Kualitas Parameter Air Pendukung.....	49
3.8.1 Suhu.....	49
3.8.2 Intensitas Cahaya.....	50
3.8.3 Derajat Keasaman.....	51
3.8.4 <i>Disolved Oxigen</i> (DO).....	51
3.8.7 Kepadatan Plankton (Fitoplankton).....	52
3.9 Analisis Data.....	54
<b>4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>56</b>
4.1 Hasil Penyediaan Stok Kultur <i>Chlorella vulgaris</i> .....	56
4.2 Hasil Uji Penelitian Pendahuluan.....	59
4.3 Hasil Uji Penelitian Sesungguhnya LC <sub>50-96 jam</sub> .....	62
4.4 Analisa Probit.....	67
4.5 Hasil Analisis Data Statistik.....	69
4.6 Analisis Parameter Kualitas Air.....	70
4.6.1 Intensitas Cahaya.....	70
4.6.2 Suhu.....	71
4.6.3 Derajat Keasaman (pH).....	73
4.6.4 <i>Disolved Oxigen</i> (DO).....	75
<b>5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>77</b>
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran.....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>78</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>86</b>

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Fungsi Alat .....	35
2. Fungsi Bahan.....	36
3. Analisis Probit Menurut Wardlaw.....	55
4. Data Hasil Mortalitas <i>Chlorella vulgaris</i> pada Uji Penelitian Pendahuluan	59
5. Data Hasil Mortalitas <i>Chlorella vulgaris</i> pada Uji Penelitian Inti.....	63
6. Data Hasil Pengukuran Kualitas Air Beserta Standar Baku Mutu.....	70

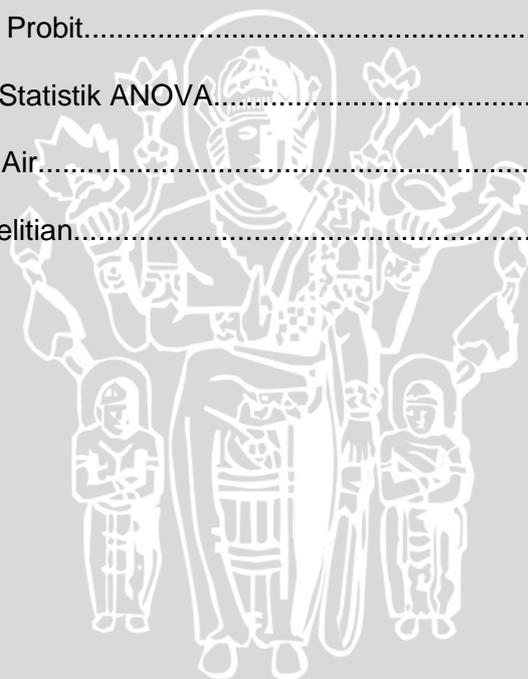


## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bagan Alir Permasalahan.....	5
2. <i>Chlorella vulgaris</i> .....	24
3. Struktur Sel <i>Chlorella vulgaris</i> .....	25
4. Fase Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> .....	28
5. Denah Penelitian.....	41
6. Preparasi Haemositometer.....	52
7. Bidang Pandang.....	53
8. Contoh Fitoplankton yang Dihitung dalam Bidang Pandang.....	53
9. Grafik Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> Penyediaan Stok Uji Pendahuluan.....	56
10. Grafik Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> Penyediaan Stok Uji Sesungguhnya.....	57
11. Grafik Uji Pendahuluan Mortalitas <i>Chlorella vulgaris</i> setelah 96 Jam...	60
12. Grafik Uji Sesungguhnya Mortalitas <i>Chlorella vulgaris</i> setelah 96 Jam	65
13. Grafik Pengukuran Suhu.....	72
14. Grafik Pengukuran pH.....	74
15. Grafik Pengukuran DO.....	75

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Tabel Skala Logaritmik.....	87
2. Data Hasil Penyediaan Stok Kultur.....	88
3. Tabel Hasil Uji Pendahuluan Pengamatan Mortalitas <i>Chlorella vulgaris</i> Setiap 24 Jam Sekali.....	89
4. Data Hasil Uji Sesungguhnya Pengamatan <i>Chlorella vulgaris</i> .....	90
5. Hasil Uji Limbah Cair Rumah Sakit.....	94
6. Analisa Probit.....	98
7. Tabel Transformasi Probit.....	100
8. Data Hasil Analisis Statistik ANOVA.....	103
9. Data Hasil Kualitas Air.....	105
10. Dokumentasi Penelitian.....	110



## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di Indonesia, bertambah juga aktifitas manusia serta kebutuhan manusia (Cahyono, 2007). Salah satu aktifitas manusia untuk memenuhi kebutuhan adalah aktifitas industri, pertanian, dan instansi kesehatan masyarakat. Aktifitas tersebut banyak menyebabkan permasalahan lingkungan karena menghasilkan limbah atau bahan pencemar baik berbentuk limbah cair maupun limbah padat. WHO (*World Health Organization*) juga menyatakan dampak dari aktifitas manusia yang menghasilkan limbah atau pencemar telah menyebabkan sebanyak 2.000 orang pertahun mati karena keracunan yang berasal dari pestisida, limbah, logam berat dan bahan beracun dari air limbah. Sementara itu, sekitar 5.000-10.000 orang pertahun mengalami dampak gangguan kesehatan, seperti kanker, penyakit lever dan kemandulan akibat secara tidak langsung terkontaminasi efek dari bahan pencemar tersebut (Novizan, 2002). Limbah atau bahan pencemar dari kegiatan manusia seringkali dibuang begitu saja ke lingkungan khususnya lingkungan perairan. Salah satu dari aktifitas manusia yang menghasilkan limbah seperti limbah beracun dan berbahaya adalah aktifitas instansi kesehatan masyarakat yaitu rumah sakit (Kusnoputranto, 1997).

Rumah sakit didirikan sebagai institusi pelayanan kesehatan dengan inti kegiatan pelayanan preventif, kuratif, rehabilitatif dan promotif sebagai upaya untuk memelihara dan meningkatkan kesehatan masyarakat. Rumah sakit sebagai tempat salah satu upaya peningkatan kesehatan tidak hanya terdiri dari balai pengobatan dan tempat praktek dokter saja, tetapi juga ditunjang oleh unit-unit lainnya, seperti ruang operasi, laboratorium, farmasi, administrasi, dapur, laundry, pengolahan sampah dan limbah, serta penyelenggaraan pendidikan dan

pelatihan (Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2009). Rumah sakit selain membawa dampak positif sebagai tempat menyembuhkan orang sakit, juga memiliki kemungkinan membawa dampak negatif berupa pencemaran dari limbah yang tidak dikelola dengan baik (Ditjen P2MLP, 2002).

Menurut Said (1999), dalam profil kesehatan Indonesia, Departemen Kesehatan tahun 1997 diungkapkan seluruh rumah sakit di Indonesia berjumlah 1090 rumah sakit. Hasil kajian terhadap 100 rumah sakit di Jawa dan Bali menunjukkan bahwa rata-rata produksi sampah sebesar 3,2 kg per tempat tidur per hari. Sementara itu, produksi limbah cair sebesar 416,8 liter per tempat tidur per hari. Perkiraan secara nasional produksi sampah (limbah padat) rumah sakit sebesar 376.089 ton per hari dan produksi air limbah sebesar 48.985,70 ton per hari (Sabayang *et al.*, 1996). Berdasarkan data dari Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) Jakarta Timur yang diterima, dari 26 rumah sakit yang ada di Jakarta Timur hanya tiga rumah sakit saja yang memiliki IPAL dan bekerja dengan baik. Selebihnya, ada yang belum memiliki IPAL dan beberapa rumah sakit IPAL-nya dalam kondisi rusak berat (Sabayang *et al.*, 1996). Gambaran tersebut dapat dibayangkan betapa besar potensi rumah sakit untuk mencemari lingkungan khususnya lingkungan perairan dan kemungkinannya menimbulkan kecelakaan serta penularan penyakit.

Penurunan kualitas lingkungan khususnya kualitas perairan pada dasarnya merupakan masalah ekologi manusia. Masalah tersebut timbul karena aktifitas eksploitasi oleh manusia terhadap lingkungan perairan yang tidak seimbang. Selain itu, banyak juga terdapat aktifitas manusia yang membuang bahan pencemar dengan sengaja ke lingkungan perairan, sehingga lingkungan perairan itupun kurang sesuai lagi untuk mendukung kehidupan manusia, karena telah tercemar (Suryanto, 2011). Perairan yang tercemar oleh limbah khususnya air limbah rumah sakit akan berdampak pada kehidupan makhluk hidup (biota

air), karena air menjadi unsur yang penting bagi kehidupan biota air tersebut (Pikturalistiik, 2013).

Di lingkungan perairan pasti terdapat komunitas biota atau organisme air, baik yang bersifat mikro maupun bersifat makro. Salah satu contoh organisme yang penting di lingkungan adalah fitoplankton. Fitoplankton merupakan tumbuhan renik yang penting di perairan. Fitoplankton berfungsi sebagai sumber protein yang penting untuk organisme air lainnya, serta berfungsi sebagai produsen primer di perairan yang menempati tingkat trofik pertama dalam rantai makanan. Fitoplankton juga merupakan agen fotosintesis dalam perairan (Musa *et al.*, 2010). Salah satu spesies fitoplankton yang memegang peranan penting di perairan adalah *Chlorella vulgaris*. *Chlorella vulgaris* dimanfaatkan secara komersial karena tingginya nilai gizi yang dimiliki. fitoplankton ini mengandung protein, karbohidrat, lemak, vitamin, mineral, asam amino esensial, asam lemak esensial, enzim, beta karoten dan klorofil sehingga banyak digunakan sebagai pakan ikan, suplemen makanan, bahan penawar berbagai penyakit, bahan untuk biofuel dan bioremediator (Srihati dan Carolina, 1994 dalam Phukan *et al.*, 2011). Fitoplankton uniseluler ini berbentuk simpel, fotosintetik, sehingga banyak dikembangkan dalam pengolahan limbah dan pakan alami untuk ikan. Fitoplankton ini mudah diperoleh di tempat-tempat pembudidayaan sumber daya laut meskipun secara alami juga banyak terdapat di perairan tawar (Purnamawati *et al.*, 2013).

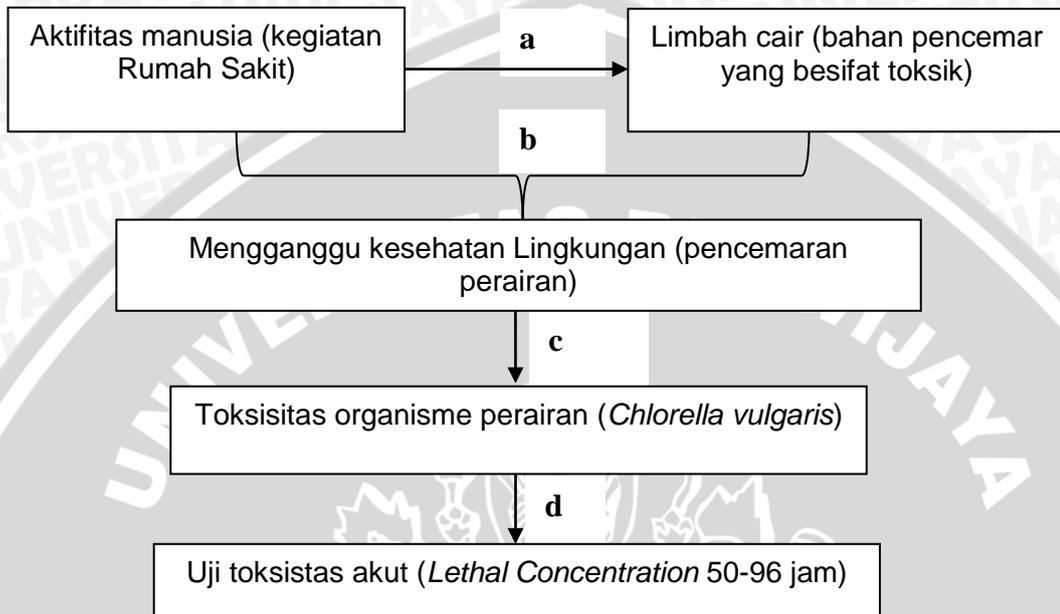
Manfaat *Chlorella vulgaris* yang begitu besar, memberikan kontribusi yang besar pula pada perairan. Sementara itu, limbah cair rumah sakit yang nantinya dibuang ke perairan memiliki kandungan senyawa yang beracun dan berbahaya seperti logam berat, bahan kimia berbahaya, BOD, COD, fenol, dan amonia yang relatif tinggi, serta senyawa radioaktif dan lain-lain yang dapat menyebabkan kematian *Chlorella vulgaris* (Rejeki *et al.*, 2014). Meskipun

*Chlorella vulgaris* dapat digunakan sebagai pengelolaan limbah, akan tetapi dalam konsentrasi limbah atau pencemar tertentu *Chlorella vulgaris* bisa mati bahkan bisa juga menghilang dari ekosistem perairan (Zahir, 2011). Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut, dibutuhkan adanya suatu eksperimen percobaan untuk mengetahui berapa konsentrasi limbah yang berbahaya untuk kepadatan *Chlorella vulgaris* di perairan, dimana dapat memusnahkan keberadaannya di dalam perairan. Eksperimen atau studi tersebut disebut juga dengan uji toksisitas akut (Sabayang *et al.*, 1996).

Uji toksisitas akut merupakan salah satu bentuk penelitian toksikologi perairan yang berfungsi untuk mengetahui apakah *effluent* atau badan perairan penerima mengandung senyawa toksik dalam konsentrasi yang menyebabkan toksisitas akut. Uji toksisitas akut biasanya menggunakan organisme uji seperti ikan, plankton (zooplankton dan fitoplankton), ataupun organisme air lainnya yang bisa dijadikan bioindikator lingkungan perairan (Sianturi *et al.*, 2012). Uji toksisitas akut sangat penting untuk mengukur dan mengevaluasi karakteristik toksik dari suatu bahan kimia ataupun pada bahan pencemar (Pemana *et al.*, 2014). Pengujian yang biasanya dilakukan untuk organisme perairan seperti ikan ataupun plankton adalah dengan menggunakan uji toksisitas akut ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ) yang menyebabkan 50% kematian organisme uji akibat terpapar bahan toksik atau bahan pencemar (Atmoko dan Ma'ruf, 2009). Permasalahan di atas yang berasal dari aktifitas manusia di rumah sakit, dijadikan oleh peneliti untuk mengetahui seberapa toksik limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* pada konsentrasi tertentu di perairan dengan menggunakan uji toksisitas akut (*Lethal concentration 50-96 jam*).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan yang digambarkan dalam bagan alir rumusan masalah pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Bagan Alir Permasalahan

*Keterangan :*

- a. Semakin bertambahnya penduduk yang ada di Indonesia, membuat aktifitas manusia semakin meningkat. Aktifitas yang dilakukan oleh manusia bermacam-macam bentuknya termasuk aktifitas untuk memenuhi kebutuhan hidup melalui aktifitas industri, pertanian, peternakan, dan instansi kesehatan masyarakat. Aktifitas tersebut bisa membawa dampak positif dan negatif. Salah satu aktifitas manusia bisa berasal dari lembaga kesehatan masyarakat yaitu rumah sakit. Rumah sakit memberikan dampak positif berupa peningkatan kesehatan masyarakat. Sementara itu berdampak negatif menghasilkan limbah, baik limbah cair maupun limbah padat yang sifatnya toksik atau racun dan berbahaya. Limbah tersebut walaupun dikelola tetap

saja nantinya akan dibuang ke perairan. Apabila pengelolaan limbah cair rumah sakit tidak maksimal, bisa membahayakan untuk ekosistem perairan.

b. Akifitas rumah sakit yang menghasilkan limbah, yaitu salah satunya limbah cair. Limbah cair rumah sakit mengandung banyak bahan organik dan anorganik yang berbahaya dan beracun. Bahan anorganik misalnya mengandung senyawa kimia, unsur-unsur radioaktif, logam beracun, dan residu obat-obatan. Sementara bahan organik banyak sekali mengandung bakteri seperti golongan bakteri *E. Coli* dan Koliform, virus dan kandungan senyawa organik yang tinggi. Selain itu limbah cair rumah sakit memiliki kandungan BOD, COD, TSS, fenol, pH, NH<sub>3</sub> bebas, PO<sub>4</sub>, dan konsentrasi beberapa logam berat beracun seperti Pb, Cu, Cd dan lain-lain yang cukup tinggi dari campuran limbah tersebut. Apabila limbah cair rumah sakit terus-menerus dibuang ke perairan, tanpa pengolahan ataupun dengan pengolahan yang kurang maksimal, dapat mengakibatkan kualitas perairan menurun dan pencemaran perairan meningkat. Semua bahan tersebut meninggalkan residu (bahan pencemar) dan apabila terlalu lama di perairan dapat terakumulasi dalam jaringan organisme atau biota air, yang bisa mengalir melalui rantai makanan.

c. Pencemaran perairan adalah indikasi suatu badan air telah tercemar. Pencemaran tersebut menurunkan kualitas air sehingga memberikan dampak bagi organisme baik mikro maupun makro yang hidup di perairan tersebut. Salah satu dampaknya adalah menyebabkan toksikan sehingga mengganggu pertumbuhan fitoplankton yaitu *Chlorella vulgaris*. Akibatnya kepadatan *Chlorella vulgaris* di perairan berkurang bahkan bisa saja menghilang. *Chlorella vulgaris* merupakan fitoplankton yang penting di perairan sebagai sumber protein dan pakan nabati untuk organisme air serta sebagai produsen primer di perairan yang menempati tingkat trofik pertama dalam rantai

makanan. *Chlorella vulgaris* juga dimanfaatkan secara komersial untuk suplemen makanan, bahan penawar berbagai penyakit, serta bahan untuk biofuel dan bioremediator. Selain itu *Chlorella vulgaris* juga dapat dijadikan sebagai bioindikator terhadap pencemaran yang ada di lingkungan perairan.

- d. Terhambatnya pertumbuhan *Chlorella vulgaris* akan menurunkan kualitas air dan kepadatannya di perairan sehingga dapat mengganggu kestabilan ekosistem (khususnya rantai makanan) di perairan tersebut dan akan berdampak pada pemenuhan protein nabati untuk beberapa jenis organisme perairan. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan uji toksisitas akut (*Lethal Concentration* 50-96 jam) untuk mengetahui kepadatan fitoplankton jenis *Chlorella vulgaris* setelah dilakukan pemaparan dari konsentrasi limbah cair rumah sakit yang berbeda. Hal tersebut menjadikan kita dapat mengetahui pada konsentrasi berapa dari pemaparan limbah cair rumah sakit yang dapat membunuh 50% dari kepadatan *Chlorella vulgaris*.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian uji toksisitas limbah cair rumah sakit ini terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* adalah :

1. Mengetahui nilai *Lethal Concentration* ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ) penggunaan limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris*.
2. Mengetahui kepadatan *Chlorella vulgaris* setelah terpapar limbah cair rumah sakit.
3. Mengetahui kualitas air berupa intensitas cahaya, pH, suhu dan oksigen terlarut pada media eksperimen.

### 1.4 Kegunaan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai bahaya limbah cair rumah sakit sebagai pencemar terhadap lingkungan perairan dan

seberapa toksik bagi *Chlorella vulgaris*. Adapun manfaat secara khusus yaitu sebagai berikut :

- a. Mahasiswa, dapat memberi informasi, menambah pengetahuan dan wawasan tentang seberapa toksik limbah cair rumah sakit pada uji toksisitas terhadap kepadatan dari *Chlorella vulgaris*.
- b. Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, memberikan informasi keilmuan yang berguna bagi penelitian lebih lanjut tentang kepadatan *Chlorella vulgaris* yang terpapar limbah cair rumah sakit pada uji toksisitas.
- c. Bagi peneliti atau lembaga ilmiah, sebagai sumber informasi keilmuan dan dasar untuk penulisan ataupun penelitian lebih lanjut tentang pengaruh limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* pada uji toksisitas.
- d. Bagi Pemerintah dan Instansi (Rumah Sakit), sebagai informasi dan bahan pertimbangan perumusan kebijakan dalam rangka pelestarian sumberdaya perairan.

### **1.5 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang, pada bulan Maret - April 2016.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Limbah

Menurut Mubarok (2009), limbah merupakan bahan sisa atau bahan buangan yang dihasilkan dari berbagai kegiatan dan proses produksi, baik pada skala rumah tangga, industri, pertambangan dan sebagainya. Berdasarkan karakteristiknya limbah dibagi menjadi limbah padat, limbah cair, limbah gas dan limbah partikel. Semua limbah atau hasil buangan berpotensi menjadi bahan pencemaran lingkungan. Salah satu pencemaran lingkungan yang biasanya ditemui adalah pencemaran air. Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1988), mengatakan bahwa pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan komponen lain ke dalam air atau berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

Menurut Sumarno, *et al.* (1996), salah satu sumber pencemaran lingkungan di perairan yaitu bisa berasal dari limbah domestik, industri, rumah sakit (kesehatan), pertanian, peternakan pertambangan dan lain-lain. Semua jenis limbah bersifat racun apabila berlebihan di perairan, akan tetapi dari semua limbah yang masuk ke badan air, terdapat limbah yang paling berbahaya yaitu limbah cair. Hal ini dikarenakan limbah cair banyak mengandung senyawa toksik beracun dan berbahaya yang sifatnya aktif, korosif dan lain-lain. Soeparman (2001) menyebutkan limbah cair merupakan sampah cair dari suatu lingkungan masyarakat dan terutama terdiri dari air yang telah dipergunakan dengan hampir 0,1% dari padanya berupa benda-benda padat yang terdiri dari zat organik dan anorganik.

Limbah cair memiliki karakteristik tersendiri. Karakteristik limbah cair menurut Sugiharto (1987), bisa dilihat dari sifat racun atau sifat-sifat yang dimiliki seperti sifat fisika, kimia dan biologis dengan melihat parameter yang diukur. Adapun karakteristiknya adalah sebagai berikut :

- a. Berdasar sifat racunnya (sangat beracun, moderat, kurang beracun dan tidak beracun)
- b. Berdasar sifat yang dimiliki dengan melihat parameter yang diukur seperti fisika (padatan total, kekeruhan, daya hantar listrik, bau, suhu, warna), kimia (organik meliputi BOD, COD, protein, karbohidrat, minyak dan lemak, *surfactants*, *phenol*, pestisida dan bahan-bahan kimia untuk pertanian. Anorganik dan gas : pH, chlorida, nitrogen, phosphor, sulfur, logam-logam berat, DO, H<sub>2</sub>S, dan metana), serta biologis dengan melihat golongan mikroorganisme yang terdapat dalam limbah cair tersebut maupun organisme patogen yang ada.

Pencemaran pada perairan yang disebabkan oleh limbah khususnya limbah cair tersebut secara umum mengakibatkan terganggunya kehidupan organisme air karena berkurangnya kandungan oksigen, terjadinya ledakan populasi ganggang dan tumbuhan air (eutrofikasi), punahnya biota air misalnya ikan, kepiting, udang, dan serangga air, menjalarnya wabah penyakit, seperti keracunan dan penyakit menular dan lain sebagainya (Angga, 2012). Selain itu, dampak pencemaran tidak hanya membahayakan kehidupan biota dan lingkungan perairan, tetapi juga dapat membahayakan kesehatan manusia atau bahkan menyebabkan kematian, mengurangi atau merusak nilai estetika lingkungan perairan, serta dapat merugikan secara sosial dan ekonomi (Fransisca, 2011).

Siregar (2005) mengatakan, salah satu limbah yang menyebabkan pencemaran di lingkungan perairan adalah limbah dari kegiatan instansi kesehatan atau rumah sakit. Limbah rumah sakit memiliki kandungan zat beracun dan berbahaya bagi perairan karena mempunyai potensi merusak ekosistem perairan. Limbah beracun dan berbahaya yang dikeluarkan oleh rumah sakit yang paling bersifat toksik di perairan adalah limbah cair rumah sakit.

## 2.2 Karakteristik dan Sumber Limbah Cair Rumah Sakit

### 2.2.1 Rumah Sakit

Rumah sakit merupakan salah satu sarana kesehatan sebagai upaya untuk memelihara dan meningkatkan kesehatan masyarakat (Djaja dan Maniksulistya, 2006). Sebagai sebuah fasilitas publik, Sharma (2006) dalam Rejeki, *et al.* (2014) menyatakan bahwa rumah sakit berfungsi memberikan layanan kesehatan bagi masyarakat dengan tujuan utama memberikan dukungan kesembuhan bagi penderita penyakit (pasien). Meskipun demikian, rumah sakit pada sisi lain juga memberikan kemungkinan resiko penularan penyakit dari limbah yang dihasilkan.

Menurut PERMENKES RI NO : 986/MENKES/per/1992, rumah sakit adalah sarana pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan kegiatan pelayanan kesehatan serta dapat dimanfaatkan untuk pendidikan, tenaga kesehatan dan penelitian. Sementara menurut Said (2000), Berdasarkan bentuk pelayanannya rumah sakit dibedakan menjadi dua yaitu :

- a. Rumah Sakit Umum (RSU) : rumah sakit yang memberikan pelayanan kesehatan semua jenis penyakit dari yang bersifat dasar sampai dengan sub spesialisik.
- b. Rumah Sakit Khusus (RSK) : rumah sakit yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan berdasarkan jenis penyakit tertentu atau disiplin ilmu.

### 2.2.2 Limbah Cair Rumah Sakit

Menurut Said (1999), limbah cair rumah sakit merupakan seluruh buangan cair yang berasal dari seluruh proses kegiatan rumah sakit yang meliputi limbah domestik cair, limbah cair klinis, air limbah laboratorium, air limbah radioaktif dan lainnya. Droste (1997) mengatakan air limbah rumah sakit banyak mengandung senyawa polutan organik yang cukup tinggi. Air limbah rumah sakit juga mengandung logam berat, dan senyawa radioaktif yang keduanya membutuhkan pengolahan secara khusus.

Air limbah rumah sakit juga merupakan salah satu sumber pencemar lingkungan yang sangat potensial di lingkungan, khususnya lingkungan perairan (Said, 2000). Limbah cair rumah sakit termasuk dalam limbah infeksius yang masih perlu pengelolaan sebelum dibuang ke lingkungan. Hal ini dikarenakan limbah dari kegiatan rumah sakit tergolong limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yaitu limbah yang bersifat infeksius, radioaktif, korosif dan kemungkinan mudah terbakar (Subekti, 2010).

### 2.2.3 Karakteristik Limbah Cair Rumah sakit

Limbah cair rumah sakit mempunyai karakteristik sebagai air buangan yang berasal dari hasil proses kegiatan sarana pelayanan kesehatan yang meliputi : air limbah domestik (air buangan kamar mandi, dapur, air bekas pencucian pakaian), air limbah klinis (air limbah yang berasal dari kegiatan klinis rumah sakit, misalnya air bekas cucian luka, cucian darah dan lainnya), air limbah laboratorium dan lainnya (Kemenkes, 2011 *dalam* Rejeki *et al.*, 2014). Limbah cair rumah sakit yang berasal dari buangan domestik maupun buangan limbah cair klinis, umumnya mengandung senyawa polutan organik yang cukup tinggi. Sedangkan untuk air limbah rumah sakit yang berasal dari laboratorium, biasanya banyak mengandung logam berat dan bahan kimia berbahaya yang

bersifat racun apabila tidak dikelola terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan (Casey, 1997).

Limbah cair rumah sakit juga menghasilkan unsur-unsur organik seperti lemak, karbohidrat, protein, serta urine yang berasal dari setiap kegiatan medis. Selain itu, penggunaan deterjen pada bagian *laundry* dan cairan pembersih pada setiap ruangan rumah sakit banyak mengandung senyawa fosfat yang berbentuk orthophospat, poliphospat, dan fosfor dalam senyawa organik (Setyawan dan Hartini, 2012). Limbah cair rumah sakit juga banyak mengandung senyawa kimia seperti bahan anorganik (berupa logam berat dari cairan obat dan cairan medis). Limbah rumah sakit tidak hanya berdampak negatif terhadap kualitas lingkungan baik fisik, kimia, biologis serta ekosistem perairan (sungai), tetapi juga berpotensi mengeluarkan penyakit. Karakteristik limbah rumah sakit pada umumnya juga dicerminkan berdasarkan kandungannya yang berupa zat anorganik, deterjen, beberapa kandungan kimia organik, mikroorganisme patogen, klor dan sebagainya (Haqq, 2009).

Karakteristik limbah cair rumah sakit berdasarkan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 58 Tahun 1995 dalam Gondhowiarjo (2008), yaitu karakteristik fisika, kimia dan biologi. Secara fisika karakteristik limbah cair rumah sakit adalah bahan-bahan tajam seperti jarum suntik, padatan terlarut dan tersuspensi, bau, warna dan suhu air limbah. Karakteristik kimia, limbah rumah sakit mengandung logam berat seperti Zn, Pb, Cr, Cu, Cd, Fe, Mn, Ba, Cr<sup>6+</sup>, Hg, Sn, Ni, Co, As, Se dan logam lainnya, zat beracun, pH, COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), amoniak bebas, fospat, fenol dan BOD (*Biological Oxygen Demand*). Karakteristik biologi, limbah cair rumah sakit mengandung mikroorganisme termasuk patogen, serta perkiraan jumlah kandungan bakteri *E. Coli* dan *coliform*.

#### 2.2.4 Sumber Limbah Cair Rumah Sakit

Menurut Gondhowiarjo (2008), sumber limbah cair rumah sakit secara umum berasal dari ruang *obstetri*, ruang Unit Gawat Darurat (UGD), ruang bedah, laboratorium, ruang radiologi, ruang mayat, patologi dan otopsi, unit isolasi, unit perawatan, unit pelayanan, farmasi, gizi dan dapur, binatu, unit *laundry* atau tempat pencucian, halaman serta kantor rumah sakit. Sementara itu sifat limbah yang dibuang menurut Novyanto (2002) dalam Gondhowiarjo (2008), adalah tergantung pada ukuran, fungsi dan kegiatan rumah sakit. Secara umum, air limbah mengandung bahan buangan dari pasien, bahan otopsi, jaringan hewan laboratorium, sisa makanan dari dapur, limbah *laundry*, limbah kimia dari laboratorium yang mengandung berbagai bahan kimia (bersifat toksik, non toksik dan lain sebagainya).

Menurut Prassojo, *et al.* (2014), sumber dan sifat limbah rumah sakit tergolong kompleks, karena limbah yang dihasilkan berasal dari dua sumber, yaitu sumber klinis dan non klinis. Limbah klinis sendiri bersumber dari benda-benda tajam seperti jarum suntik, *infuse*, limbah infeksius, limbah jaringan tubuh, limbah sitotoksis, limbah farmasi, limbah kimia (laboratorium). Martono (2002) dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-58/MENLH/12/1995 (2002), menyebutkan bahwa limbah cair rumah sakit juga mengandung sumber senyawa radioaktif atau yang disebut limbah radioaktif yang sifatnya berbahaya. Adapun sumber senyawa radioaktif tersebut berasal dari cairan kimia yang digunakan saat foto *rontgen* yang mengandung beberapa unsur radioaktif seperti unsur  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  yang terdapat pada air limbah B3. Sementara itu, Prassojo, *et al.* (2014) juga mengatakan sumber non klinis berasal dari kantor/atministrasi kertas, unit pelayanan (berupa karton, karet, botol), sampah dari ruang pasien, sisa makanan

buangan, sampah dapur (sisa pembungkus, sisa makanan/bahan makanan, sayur dan lainnya).

Permadi (2011), mengatakan bahwa Limbah cair dari berbagai sumber-sumber tersebut, juga mengandung bakteri, virus, logam berat beracun seperti Fe, Cr, Pb, Cu dan Cd yang berasal dari senyawa kimia pada cairan yang digunakan uji laboratorium, fenol dan obat-obatan yang berbahaya bagi lingkungan khususnya perairan di sekitar rumah sakit. Sekian banyak sumber limbah cair di rumah sakit, limbah dari laboratorium paling perlu untuk diwaspadai. Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses uji laboratorium tidak bisa diurai hanya dengan aerasi ataupun *activated sludge* (lumpur aktif). Bahan-bahan tersebut banyak mengandung logam berat dan *inveksikus*, sehingga harus disterilisasi serta dinormalkan terlebih dahulu, sebelum dikeluarkan ke badan perairan. Selain itu, pada foto *rontgen* misalnya terdapat cairan tertentu yang mengandung bahan radioaktif yang cukup berbahaya dan biasanya setelah bahan tersebut digunakan, begitusaja limbahnya langsung dibuang ke perairan.

### 2.3 Dampak Pencemaran Limbah Cair Rumah Sakit

Limbah cair rumah sakit menghasilkan sampah atau limbah yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, baik lingkungan rumah sakit itu sendiri maupun lingkungan sekitarnya khususnya lingkungan perairan (Ayuningtyas, 2009). Kandungan BOD dan COD yang tinggi pada limbah cair rumah sakit dapat menyebabkan penurunan kandungan oksigen terlarut di perairan, yang dapat mengakibatkan kematian organisme akuatik. Kandungan fosfat yang tinggi dapat mempercepat pertumbuhan fitoplankton pada perairan bebas. Beberapa jenis fitoplankton ada kelompok yang menghasilkan toksin bagi ikan dan biota air yang menutup permukaan air sehingga pancaran sinar

matahari dan oksigen terlarut dalam perairan akan berkurang (Achmad, 2013 dalam Kerubun *et al.*, 2014).

Proses kegiatan di rumah sakit yang menghasilkan limbah dan yang dibuang tanpa pengolahan yang benar, akan meningkatkan kandungan zat berbahaya lain sehingga dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan perairan (BPPT, 2014 dalam Kerubun *et al.*, 2014). Misalnya saja apabila limbah cair tersebut mempunyai pH rendah di bawah 6,5 akan bersifat korosif terhadap logam, dan mengakibatkan karat. Selain itu, pH rendah akan mengakibatkan pertumbuhan jamur dan terjadi persaingan dengan bakteri dalam metabolisme materi organik. Sementara itu, apabila nilai pH terlalu tinggi (>8,5) akan menghambat aktivitas mikroorganisme (Kerubun *et al.*, 2014). Selain itu limbah rumah sakit berbahaya karena tingginya jumlah mikroorganisme patogen, residu laboratorium dan obat-obatan, unsur-unsur radioaktif seperti  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  dan bahan kimia lainnya. Senyawa ini akan berpengaruh pada lingkungan perairan dan menimbulkan ketidakseimbangan biologi. Bahan-bahan tersebut tidak dapat hancur dalam lingkungan dan menimbulkan dampak negatif pada organisme perairan khususnya fitoplankton (Akbar dan Sudarmaji, 2010).

Menurut Alaerts dan Santika (1984) dalam Ayuningtyas, *et al.* (2009), dampak negatif limbah cair rumah sakit terhadap lingkungan adalah sebagai berikut :

a. Gangguan terhadap kesehatan masyarakat

Adanya mikroba pathogen maupun bahan kimia beracun dalam air limbah cair di rumah sakit yang masuk ke dalam air tanah dan air permukaan kemungkinan dapat menyebabkan penyakit terhadap manusia yang menggunakan air tersebut.

b. Gangguan terhadap kehidupan biotik

Gangguan ini dapat bersifat toksik yang dapat menyebabkan kepunahan dan atau penurunan keanekaragaman jenis. Adanya polutan yang berlebihan terhadap fisik air permukaan/air proses *self purification* karena kadar DO berkurang. Terhadap air tanah, mikroba patogen dapat menginfiltrasi ke tanah sampai jarak 10-15 meter searah dengan aliran air tanah, sedangkan adanya bahan kimia beracun dan berbahaya dapat menginfiltrasi ke tanah mencapai jarak 95 meter.

c. Gangguan terhadap estetika

Menimbulkan bau yang tidak sedap dan warna yang kotor serta terkesan kumuh. Hal ini terjadi karena adanya campuran limbah dari beberapa ruang instalasi.

#### 2.4 Toksisitas Limbah Cair Rumah Sakit

Menurut Wirasuta dan Niruri (2006), toksisitas pencemar merupakan sifat relatif dari suatu zat kimia, ataupun limbah dalam kemampuannya menimbulkan efek berbahaya atau penyimpangan mekanisme biologi pada suatu organisme. Suatu zat kimia, ataupun limbah dikatakan beracun (toksik), maka kebanyakan diartikan sebagai zat yang berpotensi memberikan efek berbahaya terhadap mekanisme biologi tertentu pada suatu organisme. Salah satu limbah yang memiliki toksisitas tinggi atau beracun adalah limbah cair rumah sakit. Hal ini dikarenakan limbah cair rumah sakit adalah semua bahan buangan yang berbentuk cair yang memungkinkan mengandung mikroorganisme patogen, bahan kimia beracun dan bahan radioaktif (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 58, 1995).

Menurut Lucky (2012), limbah cair yang berasal dari rumah sakit merupakan salah satu agen pencemar air yang sangat potensial dan sifatnya



toksik (beracun) karena air limbah cair rumah sakit mengandung senyawa organik yang cukup tinggi, mengandung senyawa-senyawa kimia yang berbahaya serta mengandung mikroorganisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit. Bakteri *coliform* misalnya merupakan bakteri yang sifatnya patogen, apabila jumlahnya berlebih di perairan dapat menyebabkan penyakit untuk lingkungan sekitar dan racun untuk organisme perairan. Widiyanto (2002) dalam Karim (2011) menyebutkan limbah cair rumah sakit juga mengandung bahan organik yang dapat bersifat toksik di perairan, sisa bahan organik yang terakumulasi akan menimbulkan terbentuknya senyawa metabolit yang toksik terhadap organisme di perairan seperti amonia bebas, nitrit, nitrat, dan hidrogen disulfida. Senyawa tersebut pada akhirnya mengganggu proses pertumbuhan organisme yang ada pada lingkungan perairan (Karim, 2011).

Limbah cair rumah sakit juga mengandung fenol. Fenol merupakan salah satu limbah cair yang mempunyai toksisitas tinggi dan bersifat karsinogenik. Pencemaran fenol dapat berasal dari limbah cair rumah sakit misalnya pada laboratorium kimia klinik, laboratorium hematologi, laboratorium mikrobiologi, ruang operasi dan instalasi lainnya (Mukaromah, 2008 dalam Afnani, 2010). Fenol yang ada di perairan dapat terakumulasi pada organisme yang hidup di perairan, yang apabila dimakan oleh manusia akan terakumulasi pada tubuh manusia. Fenol juga bersifat toksik terhadap mikroorganisme perairan. Fenol merupakan senyawa dengan gugus OH yang terikat pada cincin aromatik. Fenol berbahaya karena dapat menyebabkan keracunan akut pada organisme perairan (Afnani, 2010).

Menurut Murniasih dan Sukirno (2012), Limbah cair rumah sakit juga memiliki toksisitas tinggi karena mengandung logam berat beracun seperti Fe, Cr, Pb, Cd, Cu, Hg, Co dan lain-lain. Logam B3 tersebut adalah logam berat yang dominan pada limbah cair rumah sakit. Pb contohnya, biasanya berasal dari

limbah laboratorium. Bahan-bahan yang digunakan dalam uji laboratorium mengandung konsentrasi logam berat dan infeksius. Sifat racun dari Pb dapat mengakibatkan keracunan akut dan kronis. Limbah lainnya yang sifatnya sangat toksik adalah limbah radioaktif yang berasal dari cairan yang digunakan untuk foto *rontgen* yang mengandung beberapa unsur radioaktif seperti unsur  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{201}\text{Tl}$  yang terdapat pada air limbah cair B3 rumah sakit (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-58/MENLH/12/1995, 2002). Pada limbah cair rumah sakit secara umum sesuai baku mutu, parameter yang diukur dan dianggap bersifat toksik lainnya apabila masuk ke badan perairan adalah tingginya kandungan BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, Fenol, NH<sub>3</sub> bebas, PO<sub>4</sub>, kuman golongan *coliform*, pH serta radioaktivitas limbah (Prokoso *et al.*, 2009).

## 2.5 Uji Toksisitas

Toksisitas adalah suatu sifat relatif dari suatu bahan pencemar dalam hal potensi untuk menimbulkan dampak yang membahayakan bagi organisme. Toksisitas juga merupakan fungsi konsentrasi bahan pencemar dan durasi pemaparan. Data toksisitas umumnya digunakan dalam membandingkan bahan pencemar yang juga mencakup mekanisme biologis yang terkena dampak serta kondisi dimana suatu toksikan dikatakan berbahaya (Arty, 2006). Toksisitas juga dapat diartikan sebagai kemampuan racun (molekul) untuk menimbulkan kerusakan apabila masuk ke dalam tubuh dan lokasi organ yang rentan terhadapnya (Soemirat, 2003 *dalam* Husni dan Esmiralda, 2010).

Uji toksisitas adalah suatu uji untuk menentukan potensial suatu senyawa sebagai racun dan mengenali kondisi biologis/lingkungan munculnya efek toksik, serta mengkarakterisasi aksi/efek (Wirasuta dan Niruri, 2006). Sementara itu, Husni dan Esmiralda (2010) juga mengatakan bahwa toksisitas dipengaruhi oleh

beberapa faktor, antara lain komposisi dan jenis toksikan, konsentrasi toksikan, durasi dan frekuensi pemaparan, sifat lingkungan, dan spesies biota penerima. Toksikan berupa zat (berdiri sendiri atau dalam campuran zat, limbah, dan sebagainya) yang dapat menghasilkan efek negatif bagi semua atau sebagian dari tingkat organisasi biologis (populasi, individu, organ, jaringan, sel, biomolekul) dalam bentuk merusak struktur maupun fungsi biologis. Toksikan dapat menimbulkan efek negatif bagi biota dalam bentuk perubahan struktur maupun fungsional, baik secara akut maupun kronis/sub kronis. Efek tersebut dapat bersifat reversibel sehingga dapat pulih kembali dan dapat pula bersifat irreversibel yang tidak mungkin untuk pulih kembali.

Uji toksisitas akut dengan menggunakan organisme uji merupakan salah satu bentuk penelitian toksikologi perairan yang berfungsi untuk mengetahui apakah *effluent* atau badan perairan penerima mengandung senyawa toksik dalam konsentrasi yang menyebabkan toksisitas akut. Parameter yang diukur biasanya berupa kematian organisme uji, yang hasilnya dinyatakan sebagai konsentrasi yang menyebabkan 50% kematian organisme uji ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ) dalam waktu yang relatif pendek satu sampai empat hari (Sianturi *et al.*, 2012). Uji toksisitas akut juga bagian dari uji toksisitas kuantitatif sebagai akibat dari pemaparan jangka pendek suatu bahan kimia dan pencemar. Efek akut dapat terjadi dalam selang waktu beberapa jam, hari atau minggu. Uji toksisitas akut sangat penting untuk mengukur dan mengevaluasi karakteristik toksik dari suatu bahan kimia ataupun pada bahan pencemar (Pemana *et al.*, 2014). Uji toksisitas digunakan untuk mengevaluasi seberapa buruk dampak suatu bahan pencemar pada organisme dalam suatu kondisi yang terstandarisasi atau dengan tidak terdapatnya stress dari lingkungan perairan (Arty, 2006).

Menurut Guthrie dan Perry (1980), terdapat beberapa istilah yang digunakan untuk menggambarkan dampak yang diakibatkan oleh toksikan yaitu :

1. *Akut* : respon terhadap stimulus yang menimbulkan efek parah dan terjadi secara cepat dan singkat. Pengujian pada ikan dan organisme air (plankton) biasanya dilakukan dalam waktu 4 hari (96 jam), pada hewan mamalia dilakukan dalam waktu 24 jam sampai dengan 2 minggu. Jumlah mortalitas pada hewan uji biasanya digunakan untuk menentukan seberapa besar pengaruh bahan toksik tersebut.
2. *Sub Akut* : merupakan respon terhadap stimulus yang kurang parah jika dibandingkan dengan respon akut. Respon ini, perlu waktu yang cukup lama sehingga menjadi kronis.
3. *Kronis* : merupakan respon terhadap stimulus yang terjadi secara terus menerus dalam waktu yang lama, yaitu sekitar 1% - 10% dari total waktu hidup suatu organisme. Tujuan pengujian *Bioessay* uji kronis organisme air, spesies tes diuji pada seluruh siklus hidupnya untuk menentukan efek terhadap pertumbuhan, reproduksi dan perkembangan. Pada mamalia, uji kronis diteliti selama 1 tahun atau lebih untuk menentukan potensi kanker dari suatu stimulan. Tingkatan selanjutnya akan menjadi lethal dan sublethal.
4. *Lethal* : merupakan respon suatu stimulus dari konsentrasi yang menyebabkan mortalitas secara langsung.
5. *Sub Lethal* : merupakan respon suatu stimulus dari konsentrasi dibawah level *lethal*.

## 2.6 *Lethal Concentration* ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ )

*Lethal concentration* 50% ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ) adalah suatu nilai yang menunjukkan konsentrasi zat toksik yang dapat mengakibatkan kematian organisme sampai 50% (Ismail *et al.*, 2007 dalam Atmoko dan Ma'ruf, 2009). Nilai kematian 50% per hari ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$  dalam unit waktu) ditentukan dengan menggunakan persamaan regresi antara log konsentrasi dan mortalitas (%).

*Lethal concentration* 50% ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ) biasanya digunakan untuk uji mortalitas terhadap organisme uji (Atmoko dan Ma'ruf, 2009). Ramdhini (2010) juga menyatakan  $LC_{50-96 \text{ jam}}$  menunjukkan indikasi ketoksikan suatu bahan atau senyawa yang dapat menyebabkan kematian 50% pada organisme uji, yang menunjukkan apabila semakin besar nilai  $LC_{50-96 \text{ jam}}$  berarti menunjukkan toksisitasnya semakin kecil dan sebaliknya semakin kecil nilai  $LC_{50-96 \text{ jam}}$  semakin besar toksisitasnya.

Boyd (2005), menyatakan  $LC_{50-96 \text{ jam}}$  dapat ditentukan untuk setiap waktu pemaparan, tetapi periode pemaparan yang paling umum adalah 96 jam. Jangka waktu yang umum lainnya adalah 24, 48 dan 72 jam. Sementara itu, menurut Guthrie dan Perry (1980), terdapat dua istilah yang digunakan dalam teknik uji toksisitas akut yaitu  $LD_{50}$  adalah dosis yang dapat mematikan 50% organisme uji. Organisme uji yang digunakan biasanya tikus atau anjing sebagai spesies yang diuji atau dites. Adapun perbedaan antara dosis dan konsentrasi adalah konsentrasi merupakan banyaknya larutan pengenceran yang diperlukan untuk melarutkan suatu cairan sedangkan dosis adalah dosis takaran atau jumlah obat yang diberikan, dosis tidak selalu dalam bentuk larutan, karena itu penentuan uji toksisitas dengan menggunakan  $LD_{50}$  tidak sesuai untuk organisme akuatik, karena menunjukkan jumlah obat atau racun yang diberikan ke dalam tubuh melalui injeksi. Sedangkan  $LC_{50-96 \text{ jam}}$  merupakan konsentrasi median dari suatu zat beracun di dalam air (terlarut) yang mengakibatkan 50% dari organisme uji mengalami respon, dan biasanya dilakukan pada organisme air seperti ikan, plankton dan organisme air lainnya (Boyd, 2005).

Soemirat (2003), juga menyatakan bahwa jenis organisme yang biasa digunakan dalam uji toksisitas yang mewakili setiap tingkat trofis dalam piramida rantai makanan adalah sebagai berikut :

a. Organisme trofis tingkat 1

Dapat digunakan mikroalga air tawar *Selenastrium capricornatum*, *Scenedemus subspicatus* dan *Chlorella vulgaris*, dimana spesies tersebut dapat tumbuh dengan cepat dan mudah untuk dikultur

b. Organisme trofis tingkat 2

Mewakili organisme akuatik air tawar adalah *Daphnia magna* sedang akuatik laut digunakan *Artemia salina*.

c. Organisme trofis tingkat 3

Tidak termasuk dalam uji toksisitas, karena secara biokimia dan fisiologi relatif sama dengan organisme tingkat 4, sehingga respons terhadap senyawa toksik relative sama.

d. Organisme trofis tingkat 4

Pada tingkat ini diwakili oleh ikan, jenis yang paling sering digunakan adalah *Rainbow trout (Salmo gairdneri)*, *blue gilled sunfish (Lepomis macrochirus)*. Di Indonesia digunakan ikan mujair (*Tilapia mozambica*), ikan mas (*Cyprinus carpio*) dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*).

e. Organisme trofis tingkat 5

Merupakan konsumen pada tingkat atas dari rantai makanan, yang dapat menerima efek yang paling merugikan. Biasanya diwakili oleh kelompok burung-burungan.

Menurut Akbar (2006) dalam Elrifadah, et al. (2011), dosis respon yaitu konsentrasi atau dosis tertentu yang memberikan pengaruh kepada organisme uji berupa tanda atau perilaku yang berbeda pada keadaan normal. Dosis respon biasanya ditunjukkan dengan bentuk kurva. Effendi, et al. (2012), menyebutkan batas kisaran toleransi organisme ditentukan dengan mortalitas 50% dari jumlah populasi setelah didedahkan pada suatu kondisi lingkungan selama rentang waktu tertentu. Penentuan  $LC_{50-96 \text{ jam}}$  dilakukan dengan analisis probit, yaitu

perhitungan secara manual dan menggunakan *software* EPA *Probit Analysis* Version 1.5.

## 2.7 *Chlorella vulgaris*

### 2.7.1 Klasifikasi *Chlorella vulgaris*

Menurut Zahir (2011), berdasarkan taksonominya *Chlorella vulgaris* memiliki klasifikasi sebagai berikut :

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Division	: <i>Chlorophyta</i>
Kelas	: <i>Chlorophyceae</i>
Ordo	: <i>Chlorococcales</i>
Famili	: <i>Oocystaceae</i>
Genus	: <i>Chlorella</i>
Spesies	: <i>Chlorella vulgaris</i> (Gambar 2)

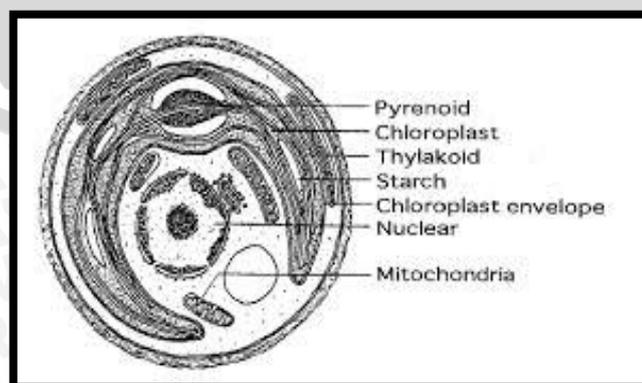


Gambar 2. *Chlorella vulgaris* (Google image, 2015)

### 2.7.2 Morfologi *Chlorella vulgaris*

*Chlorella vulgaris* merupakan fitoplankton yang termasuk kedalam organisme uniseluler. Jenis selnya adalah eukariotik dengan kemampuan fotosintesis untuk menghasilkan makanan (Harnadiemas, 2012). *Chlorella vulgaris* termasuk dalam golongan alga hijau (*Chlorophyta*). Bentuk sel *Chlorella vulgaris* bulat, bulat lonjong dengan garis tengah sel antara 2-8  $\mu\text{m}$  (Rizky *et al.*, 2010). *Chlorella vulgaris* berkembangbiak dengan cara membelah diri atau dengan pembentukan spora. *Chlorella vulgaris* mempunyai sifat fotoautotrof yaitu dapat membentuk makanannya sendiri melalui proses fotosintesis (Zahir, 2011).

*Chlorella vulgaris* termasuk fitoplankton yang mudah diperoleh di tempat-tempat pembudidayaan sumber daya laut meskipun secara alami juga banyak terdapat di perairan tawar. Sel *Chlorella vulgaris* berbentuk bulat, hidup soliter, berukuran 2-8  $\mu\text{m}$ . Sel *Chlorella vulgaris* mengandung 50% protein, lemak serta vitamin A, B, D, E dan K, disamping banyak terdapat pigmen hijau (klorofil) yang berfungsi sebagai katalisator dalam proses fotosintesis (Sachlan, 1982 dalam Purnamawati *et al.*, 2013). Sel *Chlorella vulgaris* umumnya dijumpai sendiri, atau kadang-kadang bergerombol. Bagian-bagian dari struktur sel *Chlorella vulgaris* terdiri dari *pyrenoid*, *chloroplast*, *protoplast*, *thylakoid*, *starch*, *chloroplast envelope*, *nuclear*, *mitochondria* (Gambar 3). *Protoplast* sel dikelilingi oleh membran yang selektif, sedangkan diluar membran sel terdapat dinding yang tebal terdiri dari selulosa dan pektin. Di dalam sel terdapat suatu *protoplast* yang tipis berbentuk seperti cawan atau lonceng dengan posisi menghadap ke atas. *Pirenoid-pirenoid* stigma dan vakuola kontraktil tidak ada. Warna hijau pada *Chlorella vulgaris* disebabkan karena kandungan klorofil a dan b dalam jumlah yang besar, disamping karotin dan xantofil (Volesky, 1990 dalam Purnamawati *et al.*, 2013). Kandungan klorofil dari *Chlorella vulgaris* sangat tinggi dibandingkan dengan semua jenis fitoplankton lainnya. *Chlorella vulgaris* juga termasuk kedalam organisme yang pertama kali mempunyai bentuk sel yang berinti sel sebenarnya (Wahyudi, 1999).



**Gambar 3.** Struktur Sel *Chlorella vulgaris* (Maruyama *et al.*, 1997)

Menurut Maruyama *et al.* (1997), fungsi dari bagian struktur sel *Chlorella vulgaris* berdasarkan Gambar 3 adalah sebagai berikut :

- a. *Nuclear* (inti sel) merupakan organel yang terdapat pada fitoplankton. *Nuclear* mengandung materi genetik sel dengan bentuk DNA linier panjang berbentuk kromosom dengan beragam jenis protein. *Nuclear* berfungsi untuk mengontrol semua aktifitas sel seperti proses fotosintesis dan kapan proses pembelahan terjadi. *Nuclear* juga berfungsi mengorganisasikan gen saat terjadi pembelahan sel, memproduksi mRNA untuk kode protein, sebagai tempat sintesis ribosom dan tempat replikasi DNA (*Deoxyribo Nucleic Acid*).
- b. *Chloroplast* berfungsi sebagai sistem antena penyerapan cahaya dan pusat reaksi fotokimia utama. *Chloroplast* juga merupakan tempat terjadinya fotosintesis, yang menyediakan energi dan karbon tereduksi untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan *Chlorella vulgaris*.
- c. Dinding sel pada *Chlorella vulgaris* berfungsi untuk merangsang kekebalan sel sehingga tidak mudah terserang penyakit yang disebabkan oleh virus dan bakteri. Dinding sel *Chlorella vulgaris* juga memiliki peranan untuk menyerap dan mengikat racun yang berasal dari bahan kimia, pencemar dan bakteri.
- d. *Pyrenoid* berfungsi untuk menghasilkan amilum atau pati.
- e. *Tylakoid* merupakan membran tempat terjadinya reaksi gelap terang yang berisi cairan mengandung klorofil.
- f. *Mitochondria* merupakan organel sel yang berfungsi sebagai respirasi sel dan penghasil energi.
- g. *Starch* merupakan bagian dari *Chlorella vulgaris* sebagai tempat penyedia makanan untuk sel berupa amilum.
- h. *Chloroplast envelope* berfungsi sebagai lapisan membran fosfolipid yang melindungi kloroplas.

### 2.7.3 Fase Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*

Pertumbuhan adalah biosintesis yang menyebabkan bertambahnya substansi atau protoplasma berupa perbanyakan sel, pembesaran sel, dan penggabungan berbagai materi dari sekitar sel. Pertambahan sel dalam kultur akan mengikuti pola tertentu. Pola pertumbuhan fitoplankton dibagi menjadi 5 fase (Gambar 4) yaitu fase lag, fase eksponensial (logaritmik), fase penurunan laju pertumbuhan, fase stationer, fase kematian (Carlsson *et al.*, 2007).

Menurut Purnamawati, *et al.* (2013). Selama pertumbuhannya fitoplankton termasuk *Chlorella vulgaris* mengalami beberapa fase pertumbuhan yaitu sebagai berikut :

a. *Fase lag (istirahat).*

Sejak dari penambahan inokulum ke media kultur hingga beberapa saat sesudahnya, fase ini terjadi peningkatan paling signifikan ukuran selnya karena secara fisiologis fitoplankton menjadi sangat aktif. Pada fase ini terjadi sintesis protein dan metabolisme berjalan tetapi pembelahan sel belum terjadi sehingga kepadatan sel belum meningkat karena fitoplankton sedang beradaptasi dengan lingkungan barunya.

b. *Fase logaritmik (log) atau eksponensial.*

Pada fase ini terjadi pembelahan sel sehingga laju pertumbuhan meningkat secara intensif. Dalam kondisi yang optimum, laju pertumbuhan dapat mencapai nilai maksimal sehingga dapat dilakukan pemanenan untuk keperluan pakan ikan dan industri.

c. *Fase penurunan laju pertumbuhan.*

Pembelahan sel masih terjadi pada fase ini meskipun tidak seintensif fase log, sehingga laju pertumbuhan menurun dibandingkan fase sebelumnya.

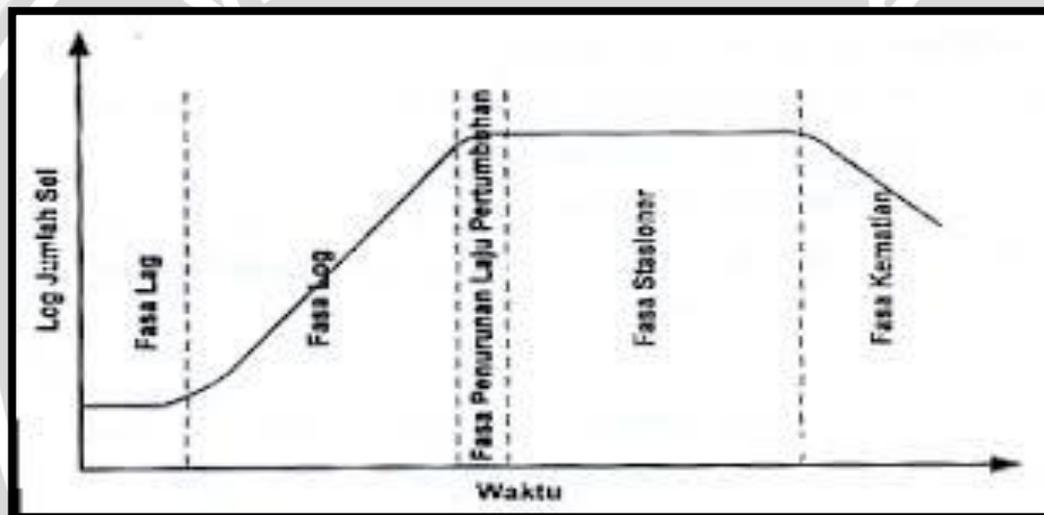
d. *Fase stasioner.*

Laju reproduksi dan laju kematian relatif seimbang pada fase ini. Kepadatan fitoplankton relatif tetap karena penambahan dan pengurangan jumlah fitoplankton seimbang.

e. *Fase kematian.*

Jumlah sel pada fase ini mengalami penurunan karena laju kematian lebih besar daripada laju reproduksi.

Gambar kurva pertumbuhan fitoplankton *Chlorella vulgaris* secara umum menurut Wirosaputro (2002), adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Fase Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*

## 2.8 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan *Chlorella vulgaris*

### 2.8.1 Intensitas Cahaya

Menurut Harnadiemas (2012), cahaya memegang peranan penting dalam pertumbuhan organisme yang bersifat fotoautotrof seperti halnya *Chlorella vulgaris*. Cahaya dibutuhkan *Chlorella vulgaris* untuk membelah diri dan melakukan proses fotosintesis. Cahaya yang dibutuhkan *Chlorella vulgaris* sebagai energi untuk melakukan proses fotosintesis dan memperbanyak diri berkisar 3-6 klux. Ohama dan Miyachi (1988) dalam Prabowo (2009) menyatakan

bahwa intensitas cahaya saturasi untuk *Chlorella vulgaris* berada pada intensitas 4000-6000 lux. Hal tersebut menunjukkan fotosintesis pada *Chlorella vulgaris* tidak lagi meningkat setelah titik intensitas cahaya tersebut. Pencahayaan yang tidak baik dapat menyebabkan efek *self-shading* yaitu peristiwa penutupan satu sel oleh sel lain akibat tidak meratanya cahaya dan CO<sub>2</sub> yang didapatkan oleh fitoplankton (Dianursanti *et al.*, 2009).

Gass (1978) dalam Facta, *et al.* (2006), menyatakan bahwa intensitas cahaya yang dimanfaatkan oleh fitoplankton akan berada pada kisaran gelombang 0.4 – 0.7 µm. Sementara itu Hoff dan Snell (1989) dalam Handayani (2001), menyatakan intensitas cahaya yang optimal untuk melakukan kultur mikroalga berkisar 2500-6000 lux. Menurut Kawaroe, *et al.* (2010), intensitas cahaya yang dibutuhkan juga tergantung kepada volume kultur serta densitas dari mikroalga. Semakin tinggi densitas mikroalga dan volume kultur, maka intensitas cahaya yang dibutuhkan juga semakin besar. Intensitas cahaya yang diperlukan untuk kultur pada erlenmayer adalah 1000 lux. Sedangkan untuk volume kultur yang lebih besar, dibutuhkan intensitas cahaya 5000-10.000 lux.

Cahaya matahari yang diperlukan oleh fitoplankton dapat digantikan dengan lampu *Tubular lamp* (TL) atau tungsten (Prabowo, 2009). Penggunaan lampu TL didasari oleh kebutuhan intensitas cahaya yang digunakan dalam penelitian mengenai fitoplankton. Lampu TL bisa diatur sesuai intensitas cahaya yang dibutuhkan oleh fitoplankton. Selain itu, lampu TL mempunyai kestabilan intensitas cahaya jika dibandingkan dengan cahaya matahari sehingga dapat dijadikan alternatif pencahayaan di ruang tertutup (Zahir, 2011).

### 2.8.2 Nutrien

Keberadaan nutrien mempengaruhi pertumbuhan dan kepadatan fitoplankton. Secara garis besar, kebutuhan nutrisi fitoplankton dapat dikelompokkan menjadi dua hal yaitu mikronutrien dan makronutrien

(Harnadiemas, 2012). Makronutrien adalah nutrisi yang diperlukan dalam jumlah yang besar yang terdiri dari C, H, N, P, K, S, Mg, dan Ca. Mikronutrien adalah nutrisi yang diperlukan dalam jumlah yang kecil meliputi Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Mo, Bo, Vn, Si, Vitamin B12 dan Thiamin (Akbar, 2008).

Tiap unsur nutrisi memiliki fungsi-fungsi khusus yang tercermin pada pertumbuhan dan kepadatan yang dicapai oleh fitoplankton (Prabowo, 2009). Unsur nutrisi yang dibutuhkan *Chlorella vulgaris* dalam jumlah besar (makronutrien) adalah seperti makronutrien pada umumnya seperti C, H, O, N, S, P, K, dan Mg yang dibutuhkan untuk pembentukan sel *Chlorella vulgaris*. Sedangkan unsur mikronutrien seperti Fe, Mn, Na, Co, Cu, dan Ca digunakan *Chlorella vulgaris* sebagai katalis proses biosintesis (Syarif, 2007). Defisiensi nutrisi akan mempengaruhi kandungan protein, pigmen fotosintesis, karbohidrat dan lemak yang terkandung. Setiap nutrisi mempunyai fungsi khusus untuk fitoplankton, seperti N, P, dan S yang berfungsi untuk pembentukan protein, sedangkan Na untuk pembentukan klorofil (Harnadiemas, 2012).

### 2.8.3 Suhu

Suhu air merupakan faktor parameter fisika yang penting dalam kegiatan perikanan. Suhu mempunyai peranan penting dalam menentukan pertumbuhan organisme air yang akan dibudidayakan. Kisaran suhu yang baik untuk menunjang pertumbuhan organisme perairan adalah 25–30°C (Frasawi *et al.*, 2013). Menurut Jusar (2014), Suhu air berpengaruh terhadap proses metabolisme organisme yang hidup di perairan. Suhu yang tinggi menyebabkan rendahnya pertumbuhan jasad hidup perairan (ikan, jasad renik dan tumbuhan air). Demikian pula pada suhu yang rendah, proses pencernaan makanan pada organisme air berlangsung lambat. Sedangkan pada suhu yang sangat hangat, proses pencernaan pada organisme air akan berlangsung dengan cepat, sehingga suhu akan mempengaruhi nafsu makan organisme air. Pada

temperatur 15,5°C organisme perairan tidak dapat tumbuh dengan baik. Pada temperatur 11°C dan 42°C sudah dapat menimbulkan kematian pada organisme perairan (Prihartono 2004 *dalam* Jusar, 2014). Sementara itu, kisaran suhu optimum untuk kultur fitoplankton di dalam perairan adalah berkisar antara 24-27°C (Utami *et al.*, 2012).

Nurhayati, *et al.* (2013), menyebutkan bahwa suhu optimum untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan *Chlorella vulgaris* berkisar antara 25-30°C. Selain itu, suhu dapat juga mempengaruhi kondisi kesetimbangan respirasi dan fotosintesis. Suhu yang meningkat menyebabkan respirasi juga meningkat yang mengakibatkan kemampuan berfotosintesis akan menurun. Suhu mempengaruhi proses-proses fisika, kimia, biologi yang berlangsung dalam sel fitoplankton. Peningkatan suhu hingga batas tertentu akan merangsang aktifitas molekul, meningkatnya laju difusi dan juga laju fotosintesis (Sachlan 1982 *dalam* Taw 1990). Suhu di bawah 16°C dapat menyebabkan kecepatan perkembangbiakan *Chlorella vulgaris* turun, sedangkan suhu diatas 36°C dapat menyebabkan kematian (Taw 1990). Suhu juga mempengaruhi kerja enzim dalam sel. Suhu yang terlalu tinggi, menyebabkan denaturasi protein dan asam nukleat, kehilangan enzim yang penting serta metabolisme sel menjadi lebih cepat dari pada biasanya (Zahir, 2011).

#### **2.8.4 Derajat Keasaman (pH)**

Nilai pH atau derajat keasaman merupakan salah satu parameter kualitas air yang penting karena menunjukkan sifat keasaman atau kebasahan air yang banyak mempengaruhi nilai pemanfaatan air tersebut. Nilai pH yang rendah (pH<7) terjadi apabila dalam perairan terdapat banyak bahan organik yang membusuk yang dalam penguraiannya banyak membutuhkan oksigen. Perairan dengan pH seperti ini tergolong dalam perairan yang kurang baik dengan pH asam (Prabowo *et al.*, 2010). Menurut Pescod (1977) *dalam* Prabowo *et al.*

(2010), nilai pH untuk perikanan adalah antara 6,2–8,5. Sementara itu Wardana (1995) dalam Prabowo *et al.* (2010) menyatakan bahwa air normal yang memenuhi syarat untuk kehidupan organisme perairan mempunyai pH 6,5–7,5. Nilai pH dibawah 4 akan membatasi keragaman organisme.

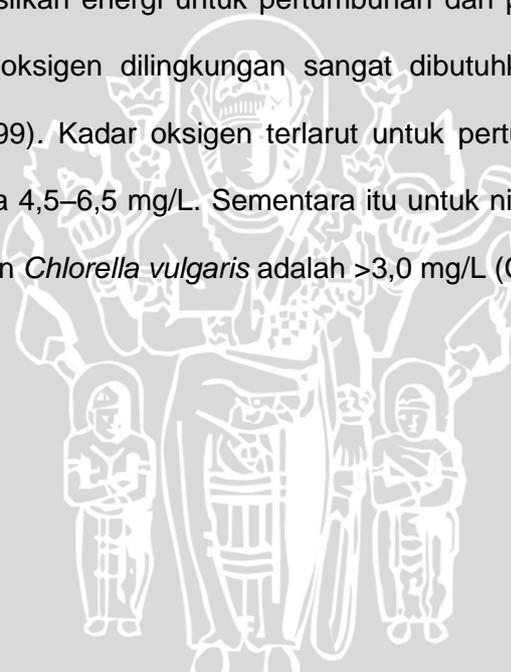
Nilai pH dalam perairan tidak hanya mempengaruhi aktifitas organisme khususnya fitoplankton, tetapi juga keragaman spesiesnya. Aktivitas enzim mikroba tergantung pada adanya ion  $H^+$ , oleh karena itu nilai pH medium akan mempengaruhi aktivitas fitoplankton. Umumnya kebanyakan mikroorganisme tumbuh optimum pada kisaran pH 6-8. Meskipun demikian, fitoplankton juga dapat tumbuh baik diluar kisaran pH tersebut. Selain itu, pH mempunyai peranan mengatur kinerja enzim (Boyd, 1990 dalam Wijoseno, 2011). Pada proses fotosintesis penyerapan karbondioksida dalam perairan terjadi sehingga menyebabkan penurunan  $CO_2$  terlarut. Penurunan kandungan karbondioksida terlarut dapat mengakibatkan peningkatan pH medium, sehingga kinerja enzim berubah dan mempengaruhi proses metabolisme fitoplankton. Rata-rata pH optimum untuk spesies fitoplankton adalah berkisar 7,0-9,0 (Lavens dan Sorgeloos, 1996). Sementara itu, pH yang optimum bagi perkembangan *Chlorella vulgaris* adalah 7,0-8,0 (Wijoseno, 2011).

#### **2.8.5 Dissolved Oxygen (DO)**

Pengukuran kualitas air tidak lepas dari adanya kandungan oksigen terlarut (DO). Oksigen terlarut (DO) merupakan parameter kualitas air yang sangat penting karena keberadaannya mutlak diperlukan oleh organisme untuk proses respirasi. Selain itu, kandungan oksigen terlarut juga secara tidak langsung mempengaruhi proses metabolisme organisme akuatik (Effendi *et al.*, 2006). Kelarutan oksigen didalam air dipengaruhi oleh suhu, tekanan parsial gas-gas yang ada di udara maupun air, kadar garam, serta adanya senyawa atau unsur yang mudah teroksidasi didalam air (Wahyudi, 1999).

Organisme perairan membutuhkan oksigen untuk pembakaran bahan bakarnya (makanan) untuk menghasilkan aktivitas, seperti aktivitas berenang, pertumbuhan, pembelahan sel, dan reproduksinya. Apabila kekurangan oksigen dalam perairan dapat mengganggu kehidupan organisme tersebut (Ghufran *et al.*, 2005). Kadar oksigen diperairan dipengaruhi oleh adanya suhu, dimana peningkatan suhu sebesar 1°C akan meningkatkan konsumsi oksigen oleh organisme perairan sebesar 10% (Effendi, 2003).

Berperan sebagai organisme akuatik fotosintetik, *Chlorella vulgaris* membutuhkan oksigen untuk proses respirasi sel, dimana pada peristiwa respirasi ini akan dihasilkan energi untuk pertumbuhan dan perkembangan sel-selnya. Ketersediaan oksigen dilingkungan sangat dibutuhkan oleh *Chlorella vulgaris* (Wahyudi, 1999). Kadar oksigen terlarut untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* berkisar antara 4,5–6,5 mg/L. Sementara itu untuk nilai standar oksigen terlarut untuk kehidupan *Chlorella vulgaris* adalah >3,0 mg/L (Chisti, 2007).



### 3. MATERI DAN METODE PENELITIAN

#### 3.1 Materi Penelitian

Materi dalam penelitian ini adalah  $LC_{50-96 \text{ jam}}$  limbah cair rumah sakit, kepadatan *Chlorella vulgaris*, dan nilai kualitas air. Penelitian ini menggunakan uji toksisitas akut ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ), untuk mengetahui kepadatan *Chlorella vulgaris* yang dipapar oleh limbah cair rumah sakit. Uji toksisitas akut dilakukan untuk mengetahui konsentrasi limbah cair rumah sakit dalam wadah yang mampu membunuh 50% organisme uji (*Chlorella vulgaris*).

Penelitian ini menggunakan *Chlorella vulgaris* sebagai mikroorganisme uji, karena *Chlorella vulgaris* merupakan salah satu fitoplankton yang menempati tingkat pertama trofik level, sebagai produsen primer, fitoplankton yang penting pada proses fotosintesis dan merupakan pakan alami dengan kandungan protein tinggi untuk organisme air lainnya khususnya ikan herbivora dan zooplankton. Keberadaannya dapat dijadikan sebagai *early warning system* khususnya kualitas air (biologi) pada perairan. Penelitian ini juga melakukan pengukuran parameter kualitas air pendukung berupa parameter fisika dan kimia, yaitu parameter fisika berupa suhu dan intensitas cahaya serta parameter kimia berupa pH, dan DO (*Disolved Oxygen*).

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

##### 3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan beserta fungsinya dalam penelitian uji toksisitas akut (*lethal concentration* 50-96 jam) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* dijelaskan pada Tabel 1. sebagai berikut :

**Tabel 1.** Fungsi Alat

Alat	Fungsi
Toples kaca kapasitas 3 liter	Sebagai wadah eksperimen perlakuan <i>chlorella vulgaris</i>
Aerator	Untuk suplai oksigen dalam media
Selang aerasi	Sebagai jalan masuknya udara dari aerator
Gelas ukur 25 ml	Untuk mengukur larutan atau bahan limbah
Gelas ukur 100 ml	Untuk mengukur larutan atau bahan limbah
Beaker glass 1000 ml	Sebagai wadah takaran limbah yang digunakan pada toples percobaan
Beaker glass 250 ml	Sebagai wadah takaran limbah yang digunakan pada toples percobaan
Pipet tetes	Untuk mengambil larutan dalam skala kecil dan sebagai pengganti batu aerasi
Mikroskop binokuler	Untuk mengamati kepadatan atau jumlah <i>chlorella vulgaris</i> dengan perbesaran 40x dan 100x
Haemositometer	Sebagai tempat meletakkan objek yang akan diamati
Cover glass	Sebagai penutup objek yang akan diamati pada mikroskop
DO meter	Untuk mengukur oksigen terlarut dan suhu pada media
pH meter	Untuk mengukur pH dalam media
Lampu jenis tubular lamp (TL) 36 watt	Sebagai sumber cahaya bagi <i>chlorella vulgaris</i>
Papan kayu	Sebagai alas untuk meletakkan lampu
Nampan	Sebagai tempat meletakkan alat bahan
Spatula	Untuk menghomogenkan larutan
Botol semprot	Untuk wadah akuades
Dirigen kapasitas 5 liter	Sebagai wadah sementara limbah cair rumah sakit
Timbangan digital	Untuk mengukur sampel Na tiosulfat
Sprayer	Untuk tempat meletakkan alkohol 96%
Kabel roll	Sebagai sumber listrik
Lux meter	Untuk mengukur intensitas cahaya yang digunakan pada penelitian

### 3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan beserta fungsinya dalam penelitian uji toksisitas akut (*lethal concentration* 50-96 jam) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* dijelaskan pada Tabel 2. sebagai berikut :

**Tabel 2.** Fungsi Bahan

Bahan	Fungsi
<i>Chlorella vulgaris</i>	Sebagai objek penelitian yang akan diamati
Kertas label	Untuk memberikan tanda pada setiap perlakuan
Air tawar	Sebagai media hidup <i>Chlorella vulgaris</i>
Akuades	Sebagai bahan untuk mengencerkan larutan dan kalibrasi peralatan
Tissue	Untuk membersihkan alat
Alkohol 96%	Untuk bahan sterilisasi awal wadah penelitian (toples)
Plastik	Untuk menutup lubang pada toples
Karet	Untuk mengikat plastik pada lubang toples
Trash bag	Untuk menutup tempat perlakuan
Clorine	Untuk sterilisasi media
Natrium tiosulfat	Untuk menetralkan clorine
Pupuk walne	Sebagai pakan untuk pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i>
Vitamin	Sebagai nutrisi tambahan pada <i>Chlorella vulgaris</i>
Limbah cair rumah sakit	Sebagai bahan pencemar yang diuji

### 3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen, yaitu mengadakan observasi dibawah kondisi buatan (*artificial condition*), dimana kondisi tersebut diatur oleh peneliti dengan tujuan untuk melihat suatu hasil yang menggambarkan hubungan variabel-variabel yang diteliti (Nazir, 2002). Metode uji hayati yang digunakan yaitu metode uji hayati statis yaitu air yang digunakan untuk pengujian tetap selama waktu percobaan (Suryabarata, 1994).

Penelitian tentang uji toksisitas akut (*lethal concentration* 50-96 jam) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* ini dilakukan untuk mengetahui kepadatan *Chlorella vulgaris* setelah dipapar oleh limbah cair rumah sakit dengan menggunakan perlakuan konsentrasi yang berbeda dari limbah cair rumah sakit yang digunakan. Penelitian ini juga digunakan untuk mengetahui pada konsentrasi berapa dari limbah cair rumah sakit yang dapat membunuh 50% dari kepadatan *Chlorella vulgaris*. Selain itu, penelitian ini juga dilakukan

untuk mengetahui kualitas air pada bak-bak percobaan yang mana terdapat limbah dan *Chlorella vulgaris*.

### 3.3.1 Data

Pengambilan data dalam penelitian ini meliputi data primer dan sekunder.

#### a. Data Primer

Data primer adalah data yang secara langsung di kumpulkan oleh peneliti dari sumber pertamanya (Suryabarata, 1994). Pengumpulan data primer dapat dilakukan dengan cara :

- Observasi

Observasi dilakukan dengan cara pengamatan dan pencatatan secara sistematis terhadap gejala atau fenomena yang diselidiki. Metode ini digunakan tanpa mengajukan pertanyaan-pertanyaan meskipun obyeknya orang (Marzuki, 1983). Observasi yang dilakukan dalam penelitian tentang uji toksisitas akut (*lethal concentration* 50-96 jam) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* adalah pengukuran nilai kualitas air pendukung seperti suhu dan intensitas cahaya (parameter fisika), DO dan pH (parameter kimia) dan kepadatan *Chlorella vulgaris* dalam bak-bak percobaan.

#### b. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang bukan merupakan sumber asli dalam kegiatan penelitian, tetapi merupakan sumber yang dapat dipakai untuk menunjang keberadaan informasi data primer yang dijadikan informasi utama. Kepentingan data sekunder adalah untuk membuat (a) latar belakang masalah penelitian, sehingga laporan penelitian lebih memiliki dukungan data yang dapat memperkuat citra akademis (b) untuk jenis penelitian kepustakaan dan studi kajian buku (referensi), maka data sekunder merupakan informasi utama (Salim, 2009). Data sekunder dalam penelitian ini didapatkan dari buku, jurnal, majalah

ilmiah, laporan skripsi atau tesis, situs internet serta kepustakaan yang menunjang dari penelitian ini.

### 3.3.2 Teknik Pengukuran Data Penelitian

Teknik pengukuran data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara observasi secara langsung yaitu dengan mengamati secara langsung pada uji pendahuluan untuk melihat mortalitas fitoplankton dari konsentrasi limbah cair rumah sakit yang digunakan, serta untuk menentukan konsentrasi limbah cair rumah sakit yang akan digunakan dalam penelitian sesungguhnya yang dinyatakan sebagai ambang *lethal* bawah ( $LC_{0-48 \text{ jam}}$ ) dan ambang *lethal* atas ( $LC_{100-24 \text{ jam}}$ ). Setelah diketahui nilai ambang *lethal* bawah dan atas kemudian dapat ditentukan nilai ambang *lethal* tengah atau  $LC_{50-96 \text{ jam}}$ .

Observasi langsung pada uji toksisitas akut (penelitian sesungguhnya) yaitu dengan melihat kepadatan *Chlorella vulgaris* pada penggunaan konsentrasi limbah cair rumah sakit yang berbeda. Selain itu, pengukuran data lainnya yaitu melakukan pengukuran kualitas air pada media perlakuan seperti suhu dan intensitas cahaya (parameter fisika), oksigen terlarut dan pH (parameter kimia). Penelitian ini dilakukan dalam 2 tahap selama kurang lebih 1 bulan, pertama melakukan uji pendahuluan dan kedua melakukan uji sesungguhnya atau uji toksisitas akut ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ) dengan menghitung kepadatan *Chlorella vulgaris* beserta kualitas air pendukung. Penghitungan kepadatan *Chlorella vulgaris*, pengukuran DO, suhu dan pH dilakukan setiap 8 jam sekali, sementara itu intensitas cahaya diukur setiap 24 jam sekali.

### 3.4 Penentuan Konsentrasi Perlakuan

Penentuan konsentrasi perlakuan untuk penelitian ini dilakukan 2 tahap yaitu pada uji pendahuluan dan uji sesungguhnya. Uji pendahuluan dilakukan dengan menghitung kepadatan *Chlorella vulgaris* dan menggunakan 5 perlakuan

yaitu A = kontrol (tanpa limbah cair), dan perlakuan B, C, D dan E = konsentrasi limbah cair. Konsentrasi limbah cair yang digunakan pada uji pendahuluan yaitu 0,09%, 0,9%, 9% dan 90% dari volume media, masing-masing perlakuan diulang 2 kali. Sementara itu, uji sesungguhnya dilakukan dengan menghitung kepadatan *Chlorella vulgaris* dan menggunakan 5 perlakuan, yaitu A = kontrol (tanpa limbah cair), dan perlakuan B, C, D dan E = konsentrasi limbah cair. Konsentrasi limbah cair yang digunakan pada uji sesungguhnya yaitu 1,215%, 2,16%, 3,78% dan 6,75% dari volume media dan disesuaikan dari hasil nilai ambang *lethal* bawah ( $LC_{0-48 \text{ jam}}$ ) dan ambang *lethal* atas ( $LC_{100-24 \text{ jam}}$ ) yang diperoleh dari uji pendahuluan, masing-masing perlakuan diulang 3 kali.

Penentuan konsentrasi limbah cair tersebut berdasarkan dari penelitian sebelumnya dan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Kaplowitz (2002) yaitu konsentrasi yang digunakan pada pengujian toksisitas menggunakan limbah cair untuk organisme uji adalah 0%, 0,01%, 0,1%, 1%, 10%, dan 100% dari media. Menurut Prokoso, *et al.* (2009), mengatakan pengujian hayati air limbah cair rumah sakit untuk uji toksisitas akut ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ) adalah menggunakan konsentrasi 0%, 0,1%, 1%, 10% dan 100% untuk uji pendahuluan, sementara uji lanjutan disesuaikan dari hasil ambang atas dan bawah pada uji pendahuluan. Sementara itu, untuk media pengujian fitoplankton digunakan konsentrasi yang berbeda yaitu 0,09%, 0,9%, 9% dan 90%. Hal ini dikarenakan bibit *Chlorella vulgaris* yang digunakan pada penelitian berbentuk cair. Syafridiman (2007), mengatakan pada uji toksisitas menggunakan fitoplankton, konsentrasi limbah yang digunakan disesuaikan dengan bentuk fitoplankton yang digunakan untuk pengujian. Bentuk padat menggunakan konsentrasi maksimal 100%, sementara bentuk cair menggunakan konsentrasi maksimal <100%.

### 3.5 Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan limbah cair rumah sakit didapatkan dari salah satu Rumah Sakit di Kota Malang. Sementara itu, bibit *Chlorella vulgaris* didapatkan dari kultur fitoplankton di Laboratorium Nutrisi Ikan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya Malang. Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang.

### 3.6 Rancangan Penelitian

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan perbedaan konsentrasi (a) sebanyak 5 konsentrasi dan ulangan perlakuan (n) sebanyak 3 kali ulangan. Rumus dari Rancangan Acak Lengkap menurut Loomis (1978) adalah sebagai berikut:

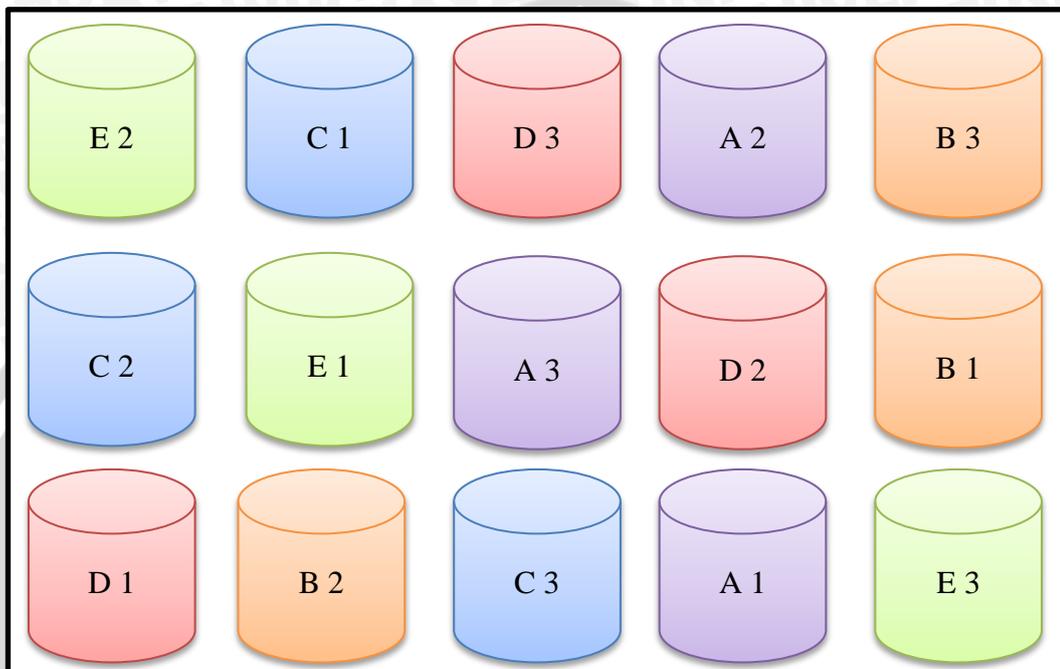
$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Keterangan :

- $Y_{ij}$  = Nilai pengamatan pada perlakuan ke-i dan ulangan ke j
- $\mu$  = Nilai tengah umum
- $T_i$  = Pengaruh perlakuan ke-i
- $\varepsilon_{ij}$  = Kesalahan (galat) percobaan pada perlakuan ke-i dan ulangan ke-j

Percobaan dilakukan menurut EPA (2002) dan EPA (1996) untuk uji toksikologi. *Chlorella vulgaris* yang digunakan berupa bibit dari kultur *Chlorella vulgaris* di Laboratorium Nutrisi Ikan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya Malang. Tata letak percobaan dilakukan secara acak (random). Pengacakan dilakukan agar analisis data yang dilakukan menjadi sah (akurat). Adapun beberapa metode yang digunakan antara lain (a) diundi

(lotere), (b) daftar angka acak atau dengan (c) menggunakan *software* (Setyorini, 2014). Denah-denah percobaan pada uji penelitian sesungguhnya yang akan digunakan sebagai berikut dengan menggunakan pengacakan (random) (Gambar 5).



**Gambar 5.** Denah Penelitian

*Keterangan* : A, B, C, D, E adalah perlakuan

Dimana

- A = Kontrol
- B = 1,215% dari volume media
- C = 2,16% dari volume media
- D = 3,78% dari volume media
- E = 6,75% dari volume media

1, 2, dan 3 adalah ulangan

### 3.7 Tahapan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan terdiri dari tiga tahap yaitu tahap preparasi penelitian, uji pendahuluan dan uji sesungguhnya (uji toksisitas akut).

### 3.7.1 Preparasi Penelitian

#### a. Pemasangan Lampu

Pemasangan lampu dilakukan sebelum melakukan eksperimen. Lampu jenis *tubular lamp* (TL) 36 watt dipasang tepat diatas kayu yang telah disediakan untuk penelitian. Lampu ini berfungsi sebagai penerangan untuk sumber cahaya yang dibutuhkan oleh *Chlorella vulgaris* dan juga berfungsi sebagai penerangan pada kultur masal. Pada pemeliharaan *Chlorella vulgaris* penyinaran adalah hal yang sangat penting karena cahaya merupakan faktor penting untuk fitoplankton itu bisa tumbuh. Pada skala laboratorium, penyinaran pada pemeliharaan fitoplankton biasanya menggunakan lampu *Tubular Lamp* (TL) dengan daya minimal 20 watt. Lama penyinaran yang dilakukan berturut sampai selesainya eksperimen (Setyaningsih *et al.*, 2012).

#### b. Sterilisasi Media

Sebelum dilakukan penelitian atau eksperimen, media dan wadah yang digunakan untuk eksperimen harus disterilisasi terlebih dahulu. Fungsi sterilisasi ini adalah untuk menghilangkan mikroba atau kotoran yang tersisa pada wadah atau toples yang akan digunakan untuk eksperimen. Tujuan sterilisasi dilakukan adalah agar toples benar-benar steril (bersih) dan siap digunakan untuk pengujian atau eksperimen. Tahapan dalam sterilisasi ada dua tahapan yaitu sterilisasi alat dan sterilisasi media. Sterilisasi alat dilakukan dengan pencucian toples, pipet tetes, dan selang aerator sampai benar-benar bersih. Kemudian toples, pipet tetes, dan selang aerator direndam pada air yang sebelumnya telah diberi clorine cair (untuk 1 liter air dibutuhkan 0,15 ml clorine murni). Kemudian didiamkan sampai 2 jam, setelah itu diberikan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (untuk 1 liter air dibutuhkan 0,075 ml  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), ditunggu sampai 15 menit. Setelah itu toples, pipet tetes, dan selang aerator dibilas dengan air. Toples, pipet tetes dan selang aerator dikeringkan sampai benar-benar kering. Setelah kering, toples, pipet

tetes dan selang aerator disemprot dengan larutan alkohol 96%. Kemudian dibersihkan dengan tissue dan dikeringkan sampai benar-benar kering.

Sementara itu untuk sterilisasi media dilakukan dengan memasukkan media kedalam toples. Media berupa air bersih dari Laboratorium Parasit dan Penyakit Ikan. Media berupa air tawar sebagai media hidup *Chlorella vulgaris* sebanyak 1 liter dimasukkan kedalam masing-masing toples yang sudah disterilisasi. Setelah itu clorine dimasukkan sebanyak 1 ml ke dalam media air sebagai larutan sterilisasi media dari mikroba dan bakteri. Setelah itu dihomogenkan sampai tercampur. Setelah itu ditunggu selama satu hari satu malam. Setelah itu larutan Natrium tiosulfat 1 ml dimasukkan ke dalam media sebagai pengikat clorine. Setelah itu media dihomogenkan dengan spatula, dan dibiarkan selama 15 menit.

Kegiatan eksperimen atau percobaan jenis apapun harus diawali terlebih dahulu dengan sterilisasi alat dan bahan atau media. Sterilisasi alat dan bahan adalah perlakuan untuk menjadikan suatu alat atau bahan, bebas dari mikroorganisme yang tidak diinginkan (Isnansetyo dan Kurniastuti, 1995). Sterilisasi peralatan seperti gelas, toples, akuarium, bak fiber, bak beton disterilisasi dengan mencuci dan menyikat menggunakan detergen, membilasnya dengan air tawar. Pada media bisa ditambahkan larutan Clorine 2-5 ml pada media sebanyak 2-5 liter atau menambahkan larutan kaporit 20-30 ppm dan direndam selama 24 jam. Media yang telah steril perlu pengecekan dengan menambahkan Natrium Thiosulfat 10 ppm dan aerasi kuat, supaya tidak ada kaporit ataupun clorine yang tersisa (Sari dan Manan, 2012).

### **c. Pengadaptasian *Chlorella vulgaris***

Aklimatisasi organisme uji dilakukan dengan kultur (penyediaan stok) pada Laboratorium Lingkungan dan Bioteknologi perairan. Penyediaan stok dengan cara kultur ini dimaksudkan sebagai syarat pengadaptasian *Chlorella*

*vulgaris* pada suhu ruangan yang digunakan untuk pengujian toksisitas. Pertama-tama yang dilakukan dengan menyiapkan toples-toples percobaan berkapasitas 3 liter yang kemudian diisi air sebanyak 2 liter. Toples, pipet tetes dan selang aerator sebelumnya telah disterilisasi terlebih dahulu. Media yang digunakan untuk kultur planktonpun sebelumnya juga disterilisasi terlebih dahulu. Kemudian memasukkan pupuk walne dan vitamin sebanyak 2 ml (1 ml pupuk dan 1 ml vitamin untuk 1 liter air media). Pupuk dan vitamin berfungsi sebagai sumber pakan dan nutrisi *Chlorella vulgaris* (sumber N dan P). Kemudian memasukkan bibit *Chlorella vulgaris* murni dengan kepadatan  $10^6$  sel/mL sebanyak 60 ml (30 ml bibit *Chlorella vulgaris* diencerkan untuk 1 liter air media).

Tahap pemeliharaan organisme uji, dimana *Chlorella vulgaris* yang akan digunakan sebagai organisme uji dipelihara selama  $\pm$  4-5 hari. Setiap hari dilakukan pengecekan kepadatan sampai hari ke-4 ataupun hari ke-5 sampai mencapai kepadatan mencapai  $10^7$  sel/ml. Selama aklimatisasi, mortalitas organisme uji tidak boleh lebih dari 3% selama 48 jam, apabila melebihi 3% maka kelompok organisme uji tidak dapat digunakan untuk penelitian. Sebaliknya, apabila mortalitas tidak lebih dari 3% maka kelompok organisme uji dapat digunakan (Kusriani *et al.*, 2012). Aklimatisasi merupakan hal yang penting untuk menyesuaikan kondisi bahan uji dengan lingkungan yang baru. Aklimatisasi dilakukan selama tujuh hari pada setiap uji pendahuluan maupun uji sesungguhnya (Uji dasar) (EPA, 1996).

#### **d. Persiapan Konsentrasi Limbah Cair Rumah Sakit**

Persiapan untuk uji pendahuluan digunakan konsentrasi limbah cair rumah sakit yaitu sebagai berikut :

A = kontrol (0 %) dari volume media (100 ml *Chlorella vulgaris* dan 900 ml air media).

- B = 0,09 % dari volume media (0,9 ml limbah cair rumah sakit, 100 ml *Chlorella vulgaris* dan 899,1 ml air media).
- C = 0.9 % dari volume media (9 ml limbah cair rumah sakit, 100 ml *Chlorella vulgaris* dan 891 ml air media).
- D = 9 % dari volume media (90 ml limbah cair rumah sakit, 100 ml *Chlorella vulgaris* dan 810 ml air media).
- E = 90 % dari volume media (900 ml limbah cair rumah sakit dan 100 ml *Chlorella vulgaris*).

Uji penelitian pendahuluan dilakukan dengan 5 perlakuan konsentrasi tersebut, selama 96 jam dengan 2 kali ulangan.

Sementara itu setelah didapatkan hasil dari nilai ambang batas atas dan ambang batas bawah pada uji penelitian pendahuluan yaitu (0,9% dan 9%), dilakukan persiapan berbagai konsentrasi limbah cair rumah sakit untuk uji penelitian sesungguhnya yang dilakukan dengan cara sebagai berikut :

Terdapat 5 perlakuan yaitu :

- A = kontrol (0 %) dari volume media
- B = 1,215 % dari volume media
- C = 2,16 % dari volume media
- D = 3,78 % dari volume media
- E = 6,75 % dari volume media

Konsentrasi yang digunakan diperoleh berdasarkan skala logaritmik yang terdapat pada Tabel Rand pada kolom 4 (Lampiran 1). Apabila dihitung didapatkan hasil konsentrasi limbah cair rumah sakit dari masing-masing perlakuan untuk uji penelitian sesungguhnya sebagai berikut :

Volume media = 1 liter = 1000 ml

- Perlakuan A = 0% media

$$= \frac{0}{100} \times 1000 \text{ ml}$$

$$= 0 \text{ ml}$$

Perlakuan A yaitu 1000 ml larutan berisi 900 ml air media dan 100 ml kultur *Chlorella vulgaris*.

- Perlakuan B = 1,215 % media

$$= \frac{1,215}{100} \times 1000 \text{ ml}$$

$$= 12,15 \text{ ml}$$

Perlakuan B yaitu 1000 ml larutan berisi 887,85 ml air media, 100 ml kultur *Chlorella vulgaris* dan 12,15 ml limbah cair rumah sakit.

- Perlakuan C = 2,16 % media

$$= \frac{2,16}{100} \times 1000 \text{ ml}$$

$$= 21,6 \text{ ml}$$

Perlakuan C yaitu 1000 ml larutan berisi 878,4 ml air media, 100 ml kultur *Chlorella vulgaris* dan 21,6 ml limbah cair rumah sakit.

- Perlakuan D = 3,78 % media

$$= \frac{3,78}{100} \times 1000 \text{ ml}$$

$$= 37,8 \text{ ml}$$

Perlakuan D yaitu 1000 ml larutan berisi 862,2 ml air media, 100 ml kultur *Chlorella vulgaris* dan 37,8 ml limbah cair rumah sakit..

- Perlakuan E = 6,75 % media

$$= \frac{6,75}{100} \times 1000 \text{ ml}$$

$$= 67,5 \text{ ml}$$

Perlakuan E yaitu 1000 ml larutan berisi 832,5 ml air media, 100 ml kultur *Chlorella vulgaris* dan 67,5 ml limbah cair rumah sakit.

### 3.7.2 Uji Penelitian Pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan untuk menentukan batas kisaran kritis (*critical range test*) yang menjadi dasar dari penentuan konsentrasi yang digunakan dalam uji lanjutan atau uji toksisitas sesungguhnya, yaitu konsentrasi yang dapat menyebabkan kematian terbesar mendekati 50% dan kematian terkecil mendekati 50% (Esmiralda dan Husni, 2012).

Adapun prosedur dalam uji pendahuluan tahap pertama adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan dan memasang lampu *Tubular Lamp* (TL) daya 36 watt 3 buah.
2. Menyiapkan 5 toples berkapasitas 3 liter (diameter 20 cm dan tinggi 28 cm) diisi air tawar (media) dengan volume sesuai konsentrasi perlakuan (4 konsentrasi perlakuan dan 1 kontrol).
3. Memberi aerasi sampai dasar untuk memberikan suplai oksigen selama pengujian.
4. Memasukkan organisme uji yaitu 0,1 liter *Chlorella vulgaris* yang berasal dari kultur atau tempat yang sejenis.
5. Memasukkan limbah cair rumah sakit dengan konsentrasi yang sudah didapat dari perhitungan ke dalam masing-masing toples.
6. Mengukur parameter kualitas air berupa suhu, DO dan pH setiap 8 jam sekali yaitu jam 05.00 WIB, 13.00 WIB, dan 21.00 WIB. Sementara intensitas cahaya diukur setiap 1 hari sekali pada jam 13.00 WIB.
7. Mengamati organisme uji dengan menghitung kepadatan (sel/ml) setiap 8 jam sekali yaitu jam 05.00 WIB, 13.00 WIB, dan 21.00 WIB selama 96 jam untuk mengetahui mortalitas organisme uji tersebut.
8. Menghitung kepadatan *Chlorella vulgaris* pada mikroskop binokuler dengan metode perhitungan duplo.

9. Mencatat hasil pengamatan mortalitas *Chlorella vulgaris* pada masing – masing konsentrasi untuk penentuan konsentrasi pada uji penelitian sesungguhnya sesuai dengan skala Rand (Lampiran 1).
10. Mencatat hasil pengamatan suhu, DO dan pH serta intensitas cahaya pada uji penelitian pendahuluan.

### 3.7.3 Uji Penelitian Sesungguhnya

Uji penelitian sesungguhnya dilakukan selama 96 jam, bertujuan untuk mengetahui kepadatan *Chlorella vulgaris* setelah dipapar oleh limbah cair rumah sakit dengan konsentrasi yang berbeda. Perlakuan menggunakan konsentrasi yang didapatkan dari uji penelitian pendahuluan. Perlakuan dari uji penelitian sesungguhnya yaitu dengan tanpa pemberian limbah cair rumah sakit sebagai kontrol dan perlakuan dengan pemberian limbah cair rumah sakit. Pengujian dilakukan setelah didapatkan nilai ambang *lethal* bawah ( $LC_{0-48 \text{ jam}}$ ) dan ambang *lethal* atas ( $LC_{100-24 \text{ jam}}$ ) dari uji penelitian pendahuluan. Prosedur dari uji penelitian sesungguhnya adalah sebagai berikut :

1. Menentukan konsentrasi limbah cair rumah sakit sesuai dengan hasil uji pendahuluan.
2. Menentukan variasi konsentrasi limbah cair rumah sakit untuk uji penelitian sesungguhnya dari nilai ambang *lethal* bawah ( $LC_{0-48 \text{ jam}}$ ) dan ambang *lethal* atas ( $LC_{100-24 \text{ jam}}$ ) dari hasil uji penelitian pendahuluan menggunakan tabel skala Rand yaitu didapatkan konsentrasi 0%; 1,215%; 2,16 %; 3,78%; dan 6,75%.
3. Mempersiapkan media dengan konsentrasi sesuai dengan perhitungan dari rentang nilai pada uji pendahuluan sebanyak 5 konsentrasi termasuk kontrol.
4. Mengaerasi media terlebih dahulu selama 5 – 10 menit sebelum *Chlorella vulgaris* dimasukkan ke dalam media percobaan.

5. Memasukkan pupuk dan vitamin masing-masing 1 ml pada media yang telah siap.
6. Memasukkan stok kultur *Chlorella vulgaris* yang telah diaklimatisasi ke dalam toples-toples percobaan masing-masing sebanyak 0,1 liter.
7. Memberikan penerangan, aerasi, dan menutup toples menggunakan Trash bag saat penelitian berlangsung, agar tidak terjadi kontaminasi.
8. Melakukan Pengamatan selama 96 jam (jam ke-0, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72, 80, 88 dan 96) untuk mengetahui LC<sub>50</sub>-24 jam, LC<sub>50</sub>-48 jam LC<sub>50</sub>-72 jam dan LC<sub>50</sub>-96 jam.
9. Menghitung kepadatan *Chlorella vulgaris* menggunakan mikroskop binokuler setiap 8 jam sekali disertai dengan pengukuran parameter kualitas air (pH, suhu, dan DO) pada masing-masing toples media perlakuan selama pengamatan 96 jam.
10. Melakukan pengukuran intensitas cahaya setiap 1 hari sekali selama 96 jam.
11. Mencatat semua hasil pengukuran yang diperoleh.
12. Menghitung % mortalitas yang diperoleh dari hasil pengamatan selama 96 jam dengan rumus :

$$\% \text{ Mortalitas} = \frac{\text{jumlah } Chlorella \text{ vulgaris yang mati}}{\text{jumlah kepadatan awal}} \times 100\%$$

### 3.8 Analisis Parameter Kualitas Air Pendukung

#### 3.8.1 Suhu

Pengukuran suhu menurut Mochtar (1989) dalam SNI No : 03-1989-F (1989) yaitu dapat dengan menggunakan DO meter. Prosedur kerjanya adalah sebagai berikut :

- a. Mengkalibrasi alat sensor pada DO-meter dengan menggunakan *aquadest*.

- b. Mengeringkan dengan tissue.
- c. Memasukkan sensor DO meter ke dalam sampel yang akan diuji.
- d. Menyalakan DO meter dengan memencet tombol ON
- e. Menunggu hingga muncul tulisan "READY" untuk pertama kali.
- f. Mencatat hasil penelitian sebagai °C.
- g. Mematikan DO meter dengan memencet tombol OFF.

### 3.8.2 Intensitas Cahaya

Pengukuran intensitas cahaya menurut SNI No :16-7062-2004 (2004) dalam Yanuar (2011) yaitu dapat dengan menggunakan *Lux Meter*. Prosedur kerjanya adalah sebagai berikut :

- a. Menghidupkan *luxmeter* yang telah dikalibrasi dengan membuka penutup sensor.
- b. Membawa *Lux meter* ke tempat cahaya yang akan di ukur.
- c. Menutupi sensor cahaya dengan penutup sensor yang telah disediakan.
- d. Menggeser tombol "*Range Switch*" ke posisi Lux 2000.
- e. Menekan tombol "*Zero button*" sampai layar menampilkan nilai angka nol
- f. Memindahkan penutup sensor apabila telah selesai.
- g. Memilih unit atau tempat pengukuran yang diinginkan dengan menekan tombol "LUX/FC". Layar akan menunjukkan pilihan satuan LUX atau Ft-cd.
- h. Menentukan jenis pencahayaan (tungssen/matahari, neon (TL), *mercury lamp*) dengan menekan tombol "*Light Source Select Button*".
- i. Memilih nilai maksimum dengan menggunakan "*Range Switch*"
- j. Memposisikan sensor cahaya tepat langsung di bawah sumber cahaya utama.
- k. Membaca hasil pengukuran pada layar monitor setelah menunggu beberapa saat sehingga didapat nilai angka yang stabil.

- l. Mencatat hasil pengukuran untuk intensitas cahaya yang diperoleh dengan satuan "LUX".
- m. Mematikan *luxmeter* setelah selesai digunakan dengan menekan tombol "Power Off".

### 3.8.3 Derajat Keasaman (pH)

Pengukuran pH menurut Kiwol (2008), dapat dilakukan dengan menggunakan pH-meter. Prosedur kerjanya adalah sebagai berikut :

- a. Mengkalibrasi menggunakan aquades sebelum pH-meter digunakan, kemudian keringkan dengan kertas yang lembut atau tissue.
- b. Merendam pen (elektroda) ke dalam contoh selama kurang lebih 1 menit, kemudian keringkan dengan kertas yang lembut atau tissue.
- c. Merendam pen (elektroda) kembali ke dalam contoh tersebut sampai pH meter menunjukkan pembacaan angka yang tetap.
- d. Masukkan pen (elektroda) ke dalam sample air yang akan diukur pH-nya sampai menunjukkan nilai berhenti beberapa detik atau stabil.
- e. Mencatat hasil pengamatan.

### 3.8.4 *Disolved Oxygen* (DO)

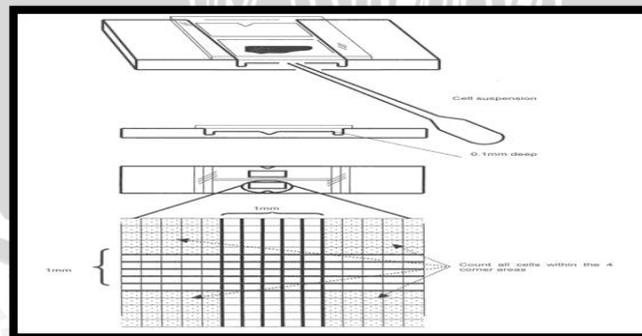
Pengukuran oksigen terlarut menurut SNI (2004) dalam Saputri (2014) yaitu dapat dengan menggunakan DO meter. Prosedur kerjanya adalah sebagai berikut :

- a. Mengkalibrasi alat sensor pada DO-meter dengan menggunakan *aquadest*.
- b. Mengeringkan dengan tissue.
- b. Memasukkan sensor DO meter ke dalam sampel yang akan diuji.
- c. Menyalakan DO meter dengan memencet tombol ON
- d. menunggu hingga muncul tulisan "READY" untuk pertama kali.
- e. Mencatat hasil penelitian sebagai mg/L.
- f. Mematikan DO meter dengan memencet tombol OFF.

### 3.8.5 Kepadatan Plankton (Fitoplankton)

Perhitungan kepadatan fitoplankton menurut SNI (2004) dalam Herniwati (2012) dapat dilakukan dengan menggunakan *Haemocytometer* secara duplo. Adapun langkah-langkah dalam perhitungan kepadatan fitoplankton adalah sebagai berikut :

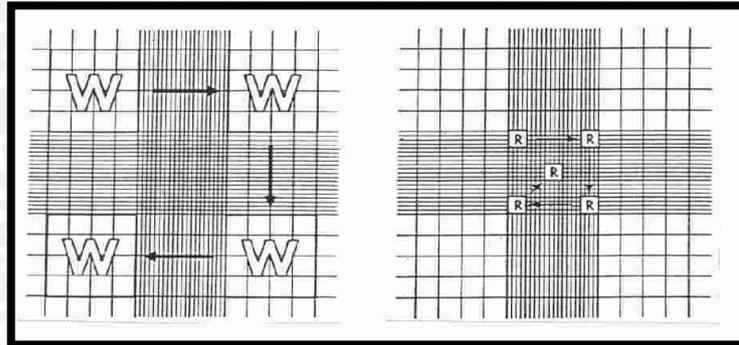
1. Menyiapkan *haemocytometer* yang akan digunakan.
2. Membersihkan permukaan *haemocytometer* dan cover glass dengan menggunakan tissue kering.
3. Menutup *haemocytometer* pada bagian tengah dengan menggunakan cover glass.
4. Mengambil sampel fitoplankton yang akan dihitung kepadatannya dengan menggunakan pipet tetes.
5. Menambahkan lugol/formalin, apabila fitoplankton bergerak aktif.
6. Menetesi satu tetes fitoplankton ke salah satu sisi cekungan *haemocytometer*, membiarkan sampai merata dan menetesi satu tetes lagi ke sisi lainnya dan dibiarkan merata. Kemudian memasukkan fitoplankton ke dalam *haemocytometer* secara hati-hati dan teliti (jangan sampai berlebih) dan jangan sampai ada gelembung udara (Gambar 6).



**Gambar 6.** Preparasi *Haemocytometer*

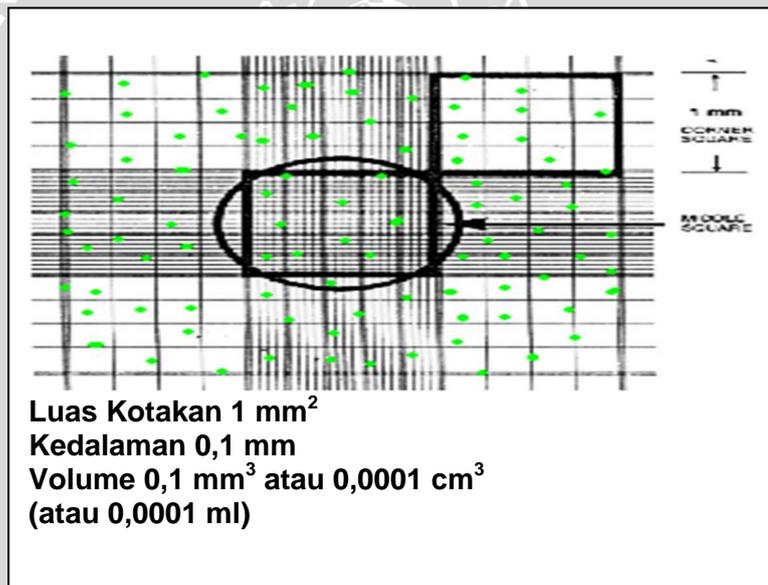
7. Meletakkan dan mengamati *haemocytometer* yang berisi sampel fitoplankton dibawah mikroskop dengan perbesaran 40x.

8. Membagi bidang pandang menjadi 5 bagian (Gambar 7)



**Gambar 7.** Bidang Pandang

9. Menghitung jumlah fitoplankton dari 5 bidang pandang tersebut.  
 10. Menghitung fitoplankton dilakukan **HANYA** pada fitoplankton yang berada dalam bidang pandang (Gambar 8).



**Gambar 8.** Contoh Fitoplankton yang Dihitung dalam Bidang Pandang

11. Menghitung jumlah total sel fitoplakton pada kelima bidang pandang kemudian di rata-rata dan menulisnya sebagai (n)  
 12. Menghitung total kepadatan fitoplankton dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kepadatan Fitoplankton} \left( \frac{\text{sel}}{\text{ml}} \right) = \frac{n}{5} \times 25 \times 10^4$$

### 3.9 Analisis Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara pengamatan dan perhitungan terhadap mortalitas *Chlorella vulgaris* pada masing-masing konsentrasi. Analisis data yang dilakukan dengan menggunakan uji regresi linier yaitu analisis probit. Caranya yaitu dengan melakukan pengujian antara konsentrasi limbah cair rumah sakit dengan mortalitas organisme uji (*Chlorella vulgaris*). Untuk melakukan analisis probit dapat menghitung menggunakan data statistik dengan *Microsoft Excel*. Analisis probit digunakan dalam pengujian biologis untuk mengetahui respon subjek yang diamati dan diteliti oleh adanya stimuli limbah atau bahan pencemar dengan mengetahui respon berupa mortalitas (Umniati, 1990 dalam Negara, 2003).

Sementara itu analisis data statistik yaitu menggunakan *software* SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) 24.0. Analisis perbandingan dari pengaruh perbedaan konsentrasi limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* dengan menggunakan ANOVA satu arah (*one-way ANOVA*) karena bertujuan untuk memberikan informasi mengenai ada tidaknya pengaruh perbedaan pemberian konsentrasi limbah cair rumah terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris*.

Nilai LC (*Lethal Concentration*) ditentukan dengan tujuan penelitian nilai ambang batas yang layak disuatu lingkungan perairan (Sprague, 1969 dalam Rumampuk *et al.*, 2010). Menurut Wardlaw (1985) dalam Romziah (2012), langkah-langkah melakukan analisis probit nilai LC<sub>50-96 jam</sub> adalah sebagai berikut :

- a. Membuat tabel probit.
- b. Memasukkan nilai konsentrasi perlakuan (ppm).
- c. Memasukkan nilai log 10 konsentrasi perlakuan.
- d. Memasukkan jumlah sampel atau organisme uji yang digunakan.

- e. Memasukkan jumlah mortalitas organisme uji pada setiap konsentrasi perlakuan.
- f. Mempersentase jumlah mortalitas ( $M_{obs}$ ).
- g. Memasukkan jumlah nilai organisme uji dalam bak percobaan ( $M_{cont}$ ).
- h. Menghitung nilai koreksi mortalitas dengan rumus Abbot's) :

$$\text{Koreksi Mortalitas (\%)} = \frac{M_{obs} - M_{cont}}{100 - M_{cont}}$$

- i. Menstansformasikan nilai koreksi mortalitas ke dalam tabel trasformasi probit, dengan syarat hanya tiga nilai konsentrasi terbawah yang digunakan dalam penentuan nilai LC-50.
- j. Membuat grafik regresi untuk nilai LC-50, sumbu Y merupakan nilai transformasi probit sedangkan sumbu X adalah bilangan log 10 konsentrasi perlakuan. Selanjutnya dari grafik tersebut ditentukan rumus regresi yaitu :

$$Y = ax + b$$

Nilai antilog X merupakan nilai LC-50.

Adapun contoh tabel probit adalah pada Tabel 3 sebagai berikut :

**Tabel 3.** Analisis Probit menurut Wardlaw (1985)

Persentase Konsentrasi pencemar (%)	Konsentrasi pencemar (ppm)	Jumlah organisme uji (awal)	Mortalitas organisme uji (dalam Hour)	Jumlah mortalitas	Persen mortalitas (%)	Konversi probit

$$Y = ax + b$$

LC-50 = antilog X

Dengan  $Y = \text{nilai probit } \{(5,00 / \text{kematian } 50\%)\}$

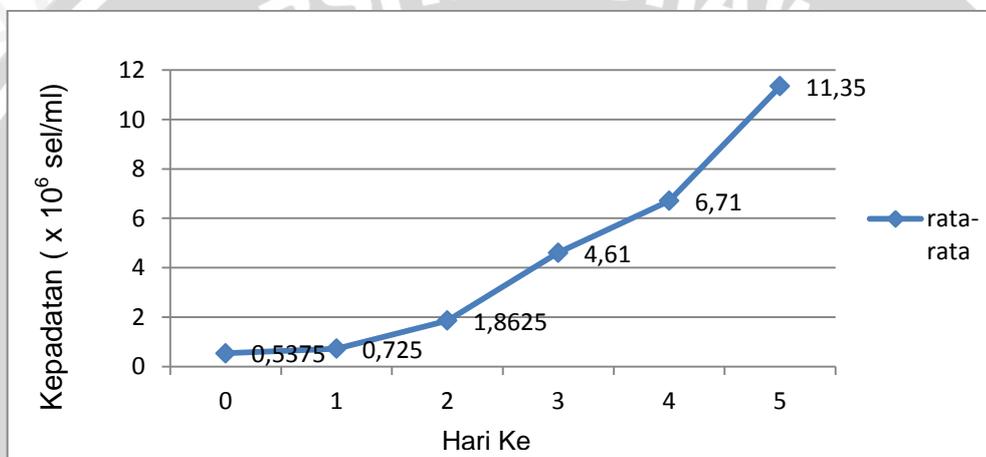
$X = \text{konsentrasi perlakuan}$

Sementara itu LC-50 ditentukan dengan analisis probit pada taraf kepercayaan 95%.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penyediaan Stok Kultur *Chlorella vulgaris*

Hasil penyediaan nilai rata-rata kepadatan stok pertama dari kultur *Chlorella vulgaris* yang digunakan dalam uji pendahuluan pada penelitian dapat dilihat pada Lampiran 2, sementara untuk grafik pertumbuhan *Chlorella vulgaris* pada penyediaan stok uji pendahuluan diperoleh hasil sebagai berikut pada Gambar 9.

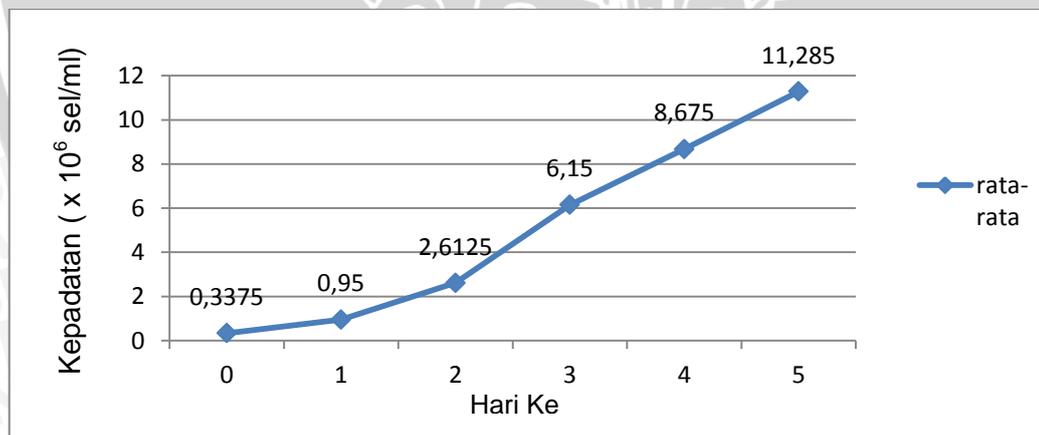


**Gambar 9.** Grafik Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Penyediaan Stok Uji Pendahuluan

Berdasarkan Gambar 9, hasil dari rata-rata kepadatan *Chlorella vulgaris* pada penyediaan stok uji pendahuluan pada hari ke-0 memiliki kepadatan  $0,5375 \times 10^6$  sel/ml dan kepadatan hari ke-5 mencapai  $11,35 \times 10^6$  sel/ml, Hari ke-0 sampai ke-2 pada penyediaan stok uji pendahuluan, kepadatan *Chlorella vulgaris* hanya mengalami kenaikan  $1,325 \times 10^6$  sel/ml, karena pada hari ke-0 sampai hari ke-2 pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dalam fase istirahat (fase lag). Sementara untuk hari ke-3 sampai hari ke-5 kepadatan *Chlorella vulgaris*, mengalami kenaikan  $6,74 \times 10^6$  sel/ml, karena pada hari ke-3 sampai hari ke-5 pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dalam fase logaritmik (fase pertumbuhan).

Hasil penyediaan stok pada uji pendahuluan dari kultur menunjukkan peningkatan signifikan dari kepadatan *Chlorella vulgaris* yang masih pada fase pertumbuhan logaritmik dengan kepadatan mencapai  $10^7$  sel/ml, sehingga bibit memiliki kualitas baik untuk dapat dilakukan pemanenan untuk diberi perlakuan pada uji pendahuluan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Boroh, (2012), bahwa syarat untuk fitoplankton yang digunakan untuk pengujian adalah berasal dari bibit yang berkualitas baik, peka terhadap perubahan lingkungan, penyebarannya luas, berasal dari tempat dan jenis yang sama, bibit diperoleh dari stok murni yang dilakukan pemurnian, dan memiliki kepadatan  $10^6$ - $10^7$  sel/ml.

Sementara itu, Hasil penyediaan nilai rata-rata kepadatan stok kedua dari kultur *Chlorella vulgaris* yang digunakan dalam uji sesungguhnya pada penelitian dapat dilihat pada Lampiran 2, sementara untuk grafik pertumbuhan *Chlorella vulgaris* pada penyediaan stok untuk uji sesungguhnya diperoleh hasil sebagai berikut pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Grafik Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Penyediaan Stok Uji Sesungguhnya

Berdasarkan Gambar 10, hasil dari rata-rata kepadatan *Chlorella vulgaris* pada penyediaan stok uji pendahuluan pada hari ke-0 memiliki kepadatan  $0,33375 \times 10^6$  sel/ml dan kepadatan hari ke-5 mencapai  $11,285 \times 10^6$  sel/ml, Hari ke-0 sampai ke-2 pada penyediaan stok uji pendahuluan, kepadatan *Chlorella vulgaris*

hanya mengalami kenaikan  $2,275 \times 10^6$  sel/ml, karena pada hari ke-0 sampai hari ke-2 pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dalam fase istirahat (fase lag), sehingga kenaikan jumlah kepadatan *Chlorella vulgaris* memiliki angka relatif sedikit. Sementara untuk hari ke-3 sampai hari ke-5 kepadatan *Chlorella vulgaris*, mengalami kenaikan  $5,135 \times 10^6$  sel/ml, karena pada hari ke-3 sampai hari ke-5 pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dalam fase logaritmik (fase pertumbuhan), sehingga kenaikan jumlah kepadatan *Chlorella vulgaris* memiliki angka relatif lebih banyak. Hal ini menunjukkan bibit memiliki kualitas baik karena masih dalam fase eksponensial dengan kepadatan  $10^7$  sel/ml, sehingga dapat dilakukan pemanenan untuk diberi perlakuan pada uji sesungguhnya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Prabowo (2009), bahwa fase eksponensial *Chlorella vulgaris* biasanya diperoleh pada hari ke-4 sampai hari ke-6 kultur. Fase ini menunjukkan adanya pembelahan sel dan pertumbuhan yang relatif cepat, dan sudah memiliki kepadatan  $10^6$ - $10^7$  sel/ml.

Syarat bibit fitoplankton yang layak digunakan untuk kultur dan pengujian menurut Kawaroe, *et al.* (2010) adalah (1) peka terhadap perubahan lingkungan (temperatur, salinitas, intensitas cahaya yang ditunjukkan dengan peningkatan produktifitas), (2) memiliki karakteristik ukuran, daya apung dan tingkah laku yang memudahkan pemanenan, (5) peka terhadap predator, penyakit dan kontaminan, (6) bermanfaat secara ekologi dan ekonomi, (7) memiliki siklus hidup yang memungkinkan untuk kultur pada sistem kontinu sebagai bibit. Beberapa spesies fitoplankton yang memenuhi syarat tersebut dan berpotensi digunakan untuk pengujian adalah *Chlorella spp.* (*Chlorella vulgaris*), *Nannochloropsis oculata*, *Tetracelmis chuii*, *Bottyococcus braunii*, *Chaetochaeros spp.*, *Dunaliella tertiolecta*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Spirulina platensis*, *Scenedesmus spp.*, dan *Isochrysis galbana*.

#### 4.2 Hasil Uji Penelitian Pendahuluan

Uji pendahuluan merupakan rangkaian uji yang dilakukan untuk menentukan batas kisaran kritis (*critical range test*) yang menjadi dasar dari penentuan konsentrasi yang digunakan dalam uji lanjutan atau uji toksisitas sesungguhnya, yaitu konsentrasi yang dapat menyebabkan kematian terbesar mendekati 50% dan kematian terkecil mendekati 50% (Megawati *et al.*, 2011). Menurut APHA (1998), uji pendahuluan juga dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi ambang atas ( $LC_{100-24 \text{ jam}}$ ) yaitu konsentrasi terendah dimana semua organisme uji mati dalam waktu pendedahan 24 jam, atau mendapatkan kematian terbesar pada waktu paling cepat. Sementara ambang bawah ( $LC_{0-48 \text{ jam}}$ ), yaitu konsentrasi tertinggi dimana organisme uji masih hidup dalam waktu pendedahan 48 jam, atau mendapatkan kematian terbesar pada waktu yang paling lama.

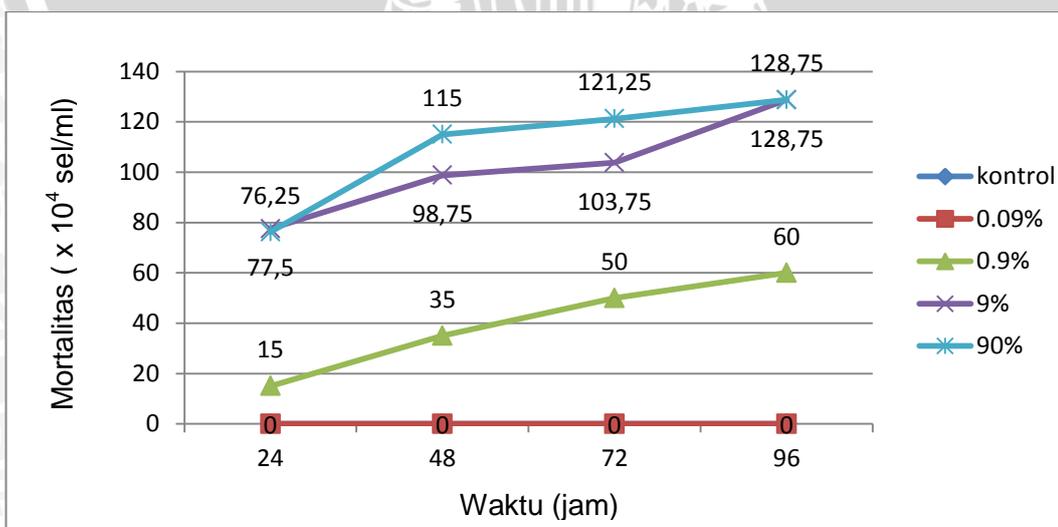
Hasil uji pendahuluan pada penelitian tentang uji toksisitas limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil uji penelitian pendahuluan tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan kisaran konsentrasi pada penelitian sesungguhnya.

**Tabel 4.** Data Hasil Mortalitas *Chlorella vulgaris* pada Uji Penelitian Pendahuluan

Konsentrasi (%)	$\Sigma$ <i>Chlorella vulgaris</i> awal ( $\times 10^4$ sel/ml)	Kepadatan <i>Chlorella vulgaris</i> ( $\times 10^4$ sel/ml)				Mortalitas setelah 96 jam ( $\times 10^4$ sel/ml)	% Mortalitas setelah 96 jam
		24 jam	48 jam	72 jam	96 jam		
0	130	147,5	222,5	253,75	262,5	0	0
0,09	130	131	138,75	140,25	131	0	0
0,9*	130	115	95	80	70	60	46,15
9**	130	52,5	31,25	26,25	125	128,75	99,04
90	130	53,75	15	87,5	125	128,75	99,04

Keterangan : \* = ambang batas bawah  
\*\* = ambang batas atas

Hasil dari uji pendahuluan yang diperoleh berdasarkan Tabel 4 yaitu, pada konsentrasi 0 % mortalitas *Chlorella vulgaris* sebesar 0%, pada konsentrasi 0,09% mortalitas *Chlorella vulgaris* sebesar 0%, pada konsentrasi 0,9% mortalitas *Chlorella vulgaris* sebesar 11,53% pada jam ke-24, 26,92% pada jam ke-48, 38,46% pada jam ke-72, dan 46,15% pada jam ke-96. Konsentrasi 9% menunjukkan mortalitas *Chlorella vulgaris* sebesar 59,61% pada jam ke-24, 75,96% pada jam ke-48, 79,81% pada jam ke-72, dan 99,04% pada jam ke-96. Sementara itu pada konsentrasi 90% menunjukkan mortalitas *Chlorella vulgaris* sebesar 58,65% pada jam ke-24, 88,46% pada jam ke-48, 93,27% pada jam ke-72, dan 99,04% pada jam ke-96 (Data hasil mortalitas pada uji penelitian pendahuluan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3). Berdasarkan hasil uji pendahuluan, maka dapat ditentukan kisaran konsentrasi yang akan digunakan untuk uji  $LC_{50-96 \text{ jam}}$  yaitu antara konsentrasi 0,9% dengan 9%, dimana konsentrasi 0,9% sebagai ambang batas bawah dan 9% sebagai ambang batas atas pada uji toksisitas akut ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris*. Apabila digambarkan pada grafik adalah sebagai berikut pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Grafik Uji Pendahuluan Mortalitas *Chlorella vulgaris* Setelah 96 Jam (garis pada kontrol tidak terlihat karena nilainya sama dengan konsentrasi 0,09% [0% prosentase kematian])

Grafik mortalitas pada Gambar 11, dapat dijelaskan bahwa mortalitas dari *Chlorella vulgaris* akan meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi dan lamanya waktu pemaparan limbah cair rumah sakit. Kepadatan dari *Chlorella vulgaris* akan berangsur menurun seiring bertambahnya konsentrasi limbah. Mortalitas tertinggi didapatkan pada konsentrasi 9% dan 90%, sementara itu mortalitas terendah didapatkan pada konsentrasi 0,9%. Konsentrasi 0% dan 0,09% tidak menunjukkan adanya kematian, hal ini dikarenakan pada konsentrasi 0,09%, keberadaan limbah cair rumah sakit masih dapat ditolerir oleh *Chlorella vulgaris*, sehingga tidak menyebabkan penurunan kepadatan *Chlorella vulgaris* pada jangka pemaparan selama 96 jam. Utami (2008) mengatakan bahwa kematian suatu organisme di perairan dari tingkat trofik pertama (produsen) sampai dengan konsumen tergantung pada jenis dan jumlah toksikan yang masuk dalam perairan. Toksikan yang masuk berlebih ke dalam badan air akan menyebabkan toksisitas untuk organisme di dalamnya. Lestari (2011) menyatakan faktor toksisitas bahan pencemar yang mempengaruhi perairan itu toksik antara lain komposisi dan jenis toksikan, durasi dan frekuensi pemaparan, sifat lingkungan dan spesies organisme penerima. Hal tersebut menjelaskan pada konsentrasi yang rendah dari pemaparan limbah cair rumah sakit pada uji penelitian pendahuluan tidak menyebabkan kematian *Chlorella vulgaris*, karena pada konsentrasi tersebut *Chlorella vulgaris* masih dapat mentolerir keberadaan dari komposisi dan jumlah limbah cair yang ada dalam perlakuan.

Selain itu pada konsentrasi 0,9%-90%, limbah cair rumah sakit dapat menurunkan kepadatan *Chlorella vulgaris* hampir mencapai 50% bahkan mencapai 100%. Hal ini dikarenakan sifat limbah rumah sakit yang toksik dan beracun untuk keberlangsungan hidup organisme di perairan, khususnya organisme produsen primer seperti *Chlorella vulgaris*. Meskipun *Chlorella vulgaris* dalam perairan dijadikan sebagai bioremediator, akan tetapi pada kondisi

perairan yang buruk dengan konsentrasi limbah cair khususnya limbah rumah sakit yang berlebih akan dapat mengakibatkan rusaknya sel dari *Chlorella vulgaris*. Kepadatan *Chlorella vulgaris* di perairanpun akan berkurang. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sabarguna dan Rubaya (2011), bahwa limbah rumah sakit bersifat toksik karena mengandung banyak bahan aktif beracun dan unsur radioaktif, bahan sitotoksis, bahan infeksius, bahan kimia beracun dan bahan-bahan farmasi seperti obat-obatan kadaluarsa dalam kandungannya yang dapat menyebabkan keracunan akut sampai kronis pada organisme akuatik khususnya organisme tingkat trofik pertama seperti fitoplankton. Selain itu kadar fenol yang cukup tinggi dapat merusak sel dan jaringan dari organisme perairan (Afnani, 2010).

Bakteri *coliform* dalam jumlah tinggi yang ada di dalam limbah cair rumah sakit juga dapat menyebabkan turunnya kualitas suatu perairan dan menghambat laju fotosintesis oleh fitoplankton (Andreas *et al.*, 2014).  $\text{NH}_3\text{-N}$  bebas pada limbah cair rumah sakit juga bersifat toksik.  $\text{NH}_3\text{-N}$  bebas adalah gas tidak berwarna, berbau tajam dan sangat larut dalam air. Tinggi rendahnya kadar ammonia pada limbah cair rumah sakit disebabkan karena tingginya kunjungan pasien di rumah sakit dan terjadinya proses dekomposisi bahan organik pada air limbah. Kadar ammonia yang tinggi di perairan dapat menyebabkan kematian organisme perairan termasuk mikroalga (Kusnoputranto, 1997).

#### 4.3 Hasil Uji Penelitian Sesungguhnya LC<sub>50-96 jam</sub>

Uji penelitian sesungguhnya toksisitas limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* menggunakan konsentrasi yang berbeda diperoleh dari hasil uji penelitian pendahuluan. Penentuan konsentrasi uji penelitian sesungguhnya didapatkan dengan memperoleh kisaran ambang batas atas dan ambang batas bawah dari hasil uji pendahuluan. Ambang batas bawah yang

digunakan yaitu 0,9%, sedangkan ambang batas atas yang digunakan yaitu 9%. Oleh karena itu, digunakan konsentrasi berdasarkan skala logaritmik yang terdapat pada Tabel Rand pada kolom 4 (Lampiran 1) yaitu dengan menggunakan konsentrasi 1,215%, 2,16%, 3,78%, dan 6,75%. Adapun data hasil pengamatan mortalitas uji toksisitas akut limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Data Hasil Mortalitas *Chlorella vulgaris* pada Uji Penelitian sesungguhnya

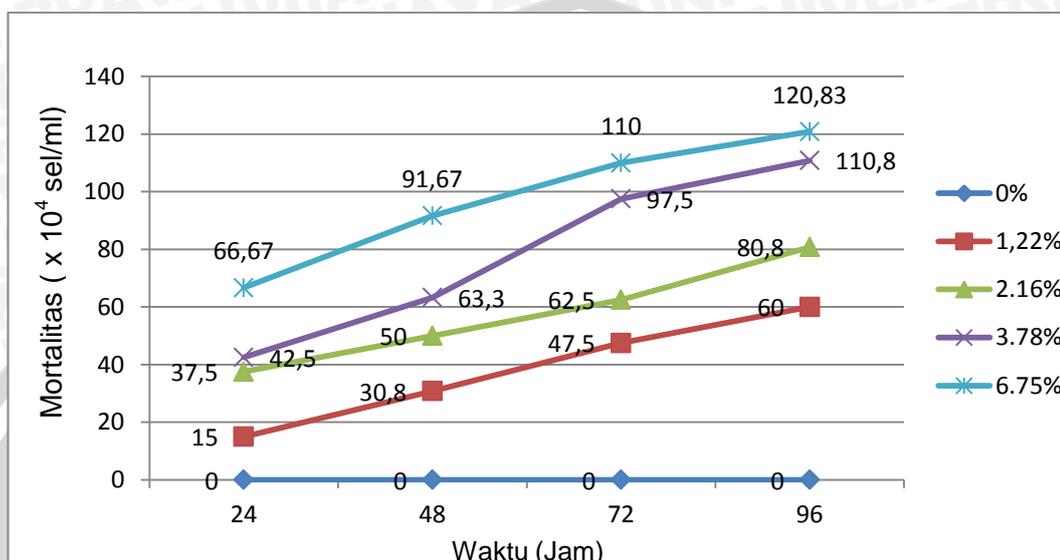
Konsentrasi (%)	$\Sigma$ <i>Chlorella vulgaris</i> awal ( $\times 10^4$ sel/ml)	Kepadatan <i>Chlorella vulgaris</i> ( $\times 10^4$ sel/ml)				Mortalitas setelah 96 jam ( $\times 10^4$ sel/ml)	% Mortalitas setelah 96 jam
		24 jam	48 jam	72 jam	96 jam		
0	127,5	182	200	224,2	182,5	0	0
1,215	127,5	112,5	96,7	80	67,5	60	47,06
2,16	127,5	90	77,5	65	46,7	80,8	63,37
3,78	127,5	85	64,17	30	16,7	110,8	86,90
6,75	127,5	60,83	35,83	17,5	6,67	120,83	94,77

Berdasarkan data hasil mortalitas *Chlorella vulgaris* pada Tabel 5, menunjukkan perbedaan mortalitas *Chlorella vulgaris* pada masing-masing konsentrasi pemberian limbah cair rumah sakit. Dimana dapat kita lihat pada konsentrasi 0% tidak terdapat kematian dari *Chlorella vulgaris*, karena menunjukkan peningkatan kepadatan dari mulai jam ke-0 sampai dengan jam ke-96. Sementara itu pada konsentrasi 1,215% menunjukkan peningkatan mortalitas berdasarkan persen mortalitas *Chlorella vulgaris* sebesar 11,76% pada jam ke-24, 24,16% pada jam ke-48, 37,25% pada jam ke-72, dan 47,06% pada jam ke-96. Konsentrasi 2,16% menunjukkan kematian lebih meningkat dibandingkan konsentrasi 1,215% yaitu persen mortalitas *Chlorella vulgaris* sebesar 29,41% pada jam ke-24, 39,22% pada jam ke-48, 49,02% pada jam ke-72 dan 63,37% pada jam ke-96.

Konsentrasi 3,78% menunjukkan kematian lebih meningkat dibandingkan konsentrasi 2,16% yaitu persen mortalitas *Chlorella vulgaris* sebesar 33,33% pada jam ke-24, 49,67% pada jam ke-48, 76,47% pada jam ke-72 dan 86,90% pada jam ke-96. Sementara itu pada konsentrasi pemberian limbah cair rumah sakit tertinggi yaitu 6,75% menunjukkan peningkatan persentase mortalitas meningkat dibandingkan konsentrasi 1,215%-3,78% yaitu persen mortalitas dari *Chlorella vulgaris* sebesar 52,29% pada jam ke-24, 71,90% pada jam ke-48, 86,27% pada jam ke-72 dan 94,77% pada jam ke-96 (Data hasil mortalitas pada uji penelitian sesungguhnya selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 4).

Data hasil pada uji toksisitas akut ( $LC_{50-96}$  jam) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* selama 96 jam menunjukkan tingkat mortalitas *Chlorella vulgaris* berbanding lurus dengan pemberian konsentrasi limbah cair rumah sakit yang berbeda dengan waktu pemaparan yang berbeda juga. Dimana semakin tinggi konsentrasi limbah cair rumah sakit yang diberikan, maka mortalitas *Chlorella vulgaris* akan semakin meningkat, dengan ditunjukkan berkurangnya kepadatan dari *Chlorella vulgaris* pada pemaparan limbah cair rumah sakit selama 96 jam. Menurut Effendi (2003), limbah pencemar mengakibatkan kematian (letal) maupun *sublethal*, misalnya akibatnya yaitu terganggunya pertumbuhan, karakteristik morfologi dan kerusakan sel serta jaringan. Menurut Rand (1980), menyatakan bahwa pengaruh dari bahan toksik terhadap suatu organisme akuatik akan terlihat dalam waktu pemaparan yang berbeda. Koesumadinata dan Sutrisno (1997) dalam Syafriadiman (2007), menjelaskan bahwa kerentanan fitoplankton terhadap bahan toksik berbeda-beda. Kerentanan tersebut dapat digolongkan berdasarkan konsentrasi dari bahan toksik itu sendiri, jenis dari bahan toksik, kandungan bahan toksik, berdasarkan spesies dan juga ukuran fitoplankton itu sendiri.

Perbedaan nilai mortalitas (sel/ml) *Chlorella vulgaris* dengan waktu pemaparan selama 96 jam pada masing-masing konsentrasi limbah cair rumah sakit yang berbeda pada uji toksisitas akut (LC<sub>50-96 jam</sub>) Limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada Gambar 12.



**Gambar 12.** Grafik Uji Sesungguhnya Mortalitas *Chlorella vulgaris* Setelah 96 Jam

Berdasarkan Gambar 12, dapat dilihat hubungan mortalitas *Chlorella vulgaris* dengan waktu pemaparan, bahwa pada semua konsentrasi perlakuan mulai dari yang terendah (1,215%) sampai dengan yang tertinggi (6,75%) dari perlakuan pemberian limbah cair rumah sakit, menunjukkan selama pemaparan 96 jam tersebut nilai dari mortalitas *Chlorella vulgaris* terus meningkat seiring dengan lamanya waktu pemaparan. Sementara pada konsentrasi 0% nilai mortalitas *Chlorella vulgaris* selama 96 jam adalah 0 (tidak terdapat kematian). Hubungan antara mortalitas *Chlorella vulgaris* dengan waktu pemaparan adalah berbanding lurus, yaitu semakin lama waktu pemaparan, maka semakin meningkat pula jumlah mortalitas dari *Chlorella vulgaris* pada masing-masing konsentrasi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Prokoso, *et al.* (2009), yang menyatakan bahwa semakin tinggi kadar konsentrasi limbah cair rumah sakit, dan semakin lama waktu pemaparan limbah cair rumah sakit yang dilakukan

untuk pengujian hayati maka semakin tinggi pula kematian organisme yang di uji. Kisaran konsentrasi limbah cair rumah sakit 13-20 ml/l pada penelitian yang dilakukan oleh Prokoso, *et al.* (2009), didapatkan hasil kematian organisme uji mencapai hampir 50%.

Kematian (mortalitas) *Chlorella vulgaris* juga dapat disebabkan cukup tingginya kadar logam berat yang terdapat pada limbah cair rumah sakit berdasarkan hasil analisa pengukuran limbah cair rumah sakit di laboratorium pada Lampiran 5. Kandungan logam berat pada limbah cair tersebut menjadi faktor yang berpotensi dalam mengurangi kepadatan *Chlorella vulgaris* yang mana logam berat dapat menyebabkan kerusakan sel sehingga pertumbuhannya terganggu, sesuai dengan pernyataan Kawaroe, *et al.* (2010), bahwa keberadaan logam berat baik yang terlarut maupun tersuspensi di dalam perairan akan menyebabkan kultivasi atau kerusakan sel mikroalga, sehingga keberadaan logam berat ini dapat menyebabkan kepadatannya berkurang.

Kematian *Chlorella vulgaris* juga dapat disebabkan oleh keberadaan bakteri *coliform* dalam limbah cair rumah sakit. Kawaroe, *et al.* (2010), juga mengatakan jumlah bakteri dalam kultur mikroalga khususnya mikroalga hijau (*Chlorophyta*) akan meningkat seiring dengan kematian fitoplankton tersebut dan melepaskan senyawa organik. Keberadaan bakteri juga menyebabkan pertumbuhan fitoplankton menjadi terhambat (Sabarguna dan Rubaya, 2011).

Tingginya angka bakteri *coliform* pada air limbah rumah sakit yaitu sebesar  $\geq 240.000$  MPN/100 ml (Lampiran 5) pada hasil uji laboratorium, menjadi faktor penyumbang untuk menghambat pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. Menurut Suminto dan Hirayama (1996), bakteri di dalam media kultur mikroalga selain sebagai kontaminan dan kompetitor makanan, juga dapat bersifat merusak sel mikroalga seperti nukleus, dinding sel, mitokondria, kloroplas dan sebagainya.

Angka bakteri *coliform* pada limbah cair rumah sakit juga memungkinkan menjadi potensi penyebab kematian dari *Chlorella vulgaris* dengan ditandainya penurunan kepadatan dan besarnya angka persen mortalitas pada konsentrasi limbah yang paling tinggi (67,5 ml/l). Hal ini sesuai dengan pernyataan Andreas, *et al.* (2014), dalam penelitiannya yang menyatakan bahwa *Chlorella* sp dapat menurun kepadatannya karena adanya keberadaan bakteri. Bakteri dapat merusak nukleus pada *Chlorella* sp. Nukleus yang rusak dapat menurunkan kandungan protein di dalam sel *Chlorella* sp. Hal lain yang menyebabkan pertumbuhan *Chlorella* sp. terganggu adalah adanya persaingan dalam memperoleh makanan sehingga menyebabkan pembelahan serta pertumbuhan sel menjadi terganggu. Chilmawati (2009) menyatakan bahwa, tingginya populasi bakteri yang berasosiasi di dalam kultur plankton menyebabkan penurunan nilai nutrisi sel plankton, sehingga dapat menyebabkan kematian plankton.

#### 4.4 Analisis Probit

Analisis probit merupakan analisis yang digunakan dalam pengujian biologis untuk mengetahui respon subjek yang diamati dan diteliti oleh adanya stimuli limbah atau bahan pencemar dengan mengetahui respon berupa mortalitas (Umniati, 1990 dalam Negara, 2003). Sementara itu model probit menurut Alderich dan Nelson (1984), dapat digunakan pada peubah prediktor katagorial (diskrit) atau kontinue. Model probit ini merupakan model linier yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara satu variabel respon dan beberapa variabel bebas, dengan variabel bebasnya berupa data kualitatif dikotomi yaitu bernilai 1 untuk menyatakan keberadaan suatu karakteristik dan bernilai 0 untuk menyatakan ketidakberadaan suatu karakteristik.

Penentuan dalam  $LC_{50-96}$  jam dapat diketahui rata-rata total kematian *Chlorella vulgaris* pada uji penelitian sesungguhnya terlebih dahulu yang

ditunjukkan pada Tabel 5. Selanjutnya dapat diolah menggunakan analisis probit yang disajikan pada Lampiran 6, menggunakan tabel analisis probit. Dimana pertama-tama membuat tabel probit dengan memasukkan nilai konsentrasi perlakuan (ml/l). Kedua memasukkan nilai log 10 dari konsentrasi perlakuan. Ketiga memasukkan jumlah sampel atau organisme uji sebanyak kepadatan awal dari *Chlorella vulgaris* ( $10^6$  sel/ml). Keempat didapatkan jumlah kematian pada organisme uji pada setiap konsentrasi perlakuan yang dihitung dengan menggunakan rumus Abbo'ts. Setelah itu, mentransformasikan nilai koreksi kematian (mortalitas) ke dalam tabel transformasi probit yang disajikan dalam Lampiran 7, tetapi hanya 3 konsentrasi terbawah yang digunakan dalam penentuan nilai  $LC_{50-96 \text{ jam}}$ . Terakhir adalah membuat grafik regresi setelah mendapat hasil dari tabel transformasi probit, untuk mendapatkan nilai  $LC_{50-96 \text{ jam}}$ . Dimana sumbu y merupakan nilai dari transformasi probit, sedangkan sumbu x adalah log 10 dari konsentrasi perlakuan. Selanjutnya dari grafik tersebut dapat ditentukan rumus regresinya yaitu  $y = ax + b$ , dimana nilai dari anti log x adalah nilai dari  $LC_{50-96 \text{ jam}}$  yang didapatkan.

Hasil perhitungan yang menggunakan analisis probit didapatkan  $LC_{50-96 \text{ jam}}$  dengan nilai konsentrasi sebesar 13,35 ml/l (Lampiran 6), dimana dengan konsentrasi limbah cair rumah sakit tersebut telah menyebabkan kematian 50% organisme uji (*Chlorella vulgaris*). Hal tersebut menunjukkan bahwa limbah cair rumah sakit bersifat toksik dan dapat menyebabkan pengaruh lethal terhadap *Chlorella vulgaris*. Berdasarkan hal tersebut maka, semakin tinggi konsentrasi limbah cair rumah sakit, maka semakin tinggi pula kematian *Chlorella vulgaris*, dan sebaliknya jika konsentrasi limbah cair rumah sakit semakin kecil maka kematian *Chlorella vulgaris* juga semakin rendah. Kisaran konsentrasi limbah cair rumah sakit 13-20 ml/l pada penelitian yang dilakukan oleh Prokoso, *et al.* (2009), didapatkan hasil kematian organisme uji mencapai hampir 50%. Prokoso,

et al. (2009), juga menyebutkan semakin lama waktu pemaparan limbah dan semakin tinggi konsentrasi limbah cair rumah sakit, kematian organisme uji semakin meningkat.

#### 4.5 Hasil Analisis Data Statistik

Hasil yang diperoleh berdasarkan rancangan acak lengkap (RAL) menggunakan data analisis statistik ANOVA, dengan menggunakan *software* SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) 24.0 didapatkan nilai rata-rata (*mean*) mortalitas *Chlorella vulgaris* pada konsentrasi 0% adalah  $0,000 \pm 0,0000$ , konsentrasi 1,215% sebesar  $60,000 \pm 6,6144$ , konsentrasi 2,16% sebesar  $80,800 \pm 2,8583$ , konsentrasi 3,78% sebesar  $110,833 \pm 8,7797$ , dan konsentrasi 6,75% sebesar  $120,833 \pm 3,8188$  serta nilai F-Hitung sebesar 242,025, dan nilai *sig* (probabilitas) sebesar 0,000. Hasil perbedaan pemberian konsentrasi menunjukkan pengaruh yang signifikan pada mortalitas *Chlorella vulgaris* yaitu dengan dibuktikan menggunakan analisis *One Way Anova* menunjukkan bahwa F-hitung ( $242,025 > F\text{-tabel}$  (3,48) dan juga dibuktikan dengan analisis *Independent T-Test* menunjukkan nilai probabilitas ( $0,000 < 0,05$ ) (Lampiran 8). Hal ini menjadikan  $H_0$  ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan antara nilai mortalitas *Chlorella vulgaris* pada pemberian konsentrasi limbah cair rumah sakit yang berbeda dengan taraf kepercayaan 95%.

Jainuri (2014), mengatakan bahwa uji-T atau *T-Test* adalah salah satu test statistik yang dipergunakan untuk menguji kebenaran atau kepalsuan hipotesis nol/nihil ( $H_0$ ) yang menyatakan bahwa diantara dua buah *mean* sampel yang diambil secara random dari populasi yang sama tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Penarikan kesimpulan dalam pengujian hipotesis selain dengan membandingkan nilai t hitung dengan nilai pada tabel t, pada *software* SPSS

juga bisa menggunakan nilai *Sig*, jika *Sig*>0,05 maka *Ho* diterima dan jika *Sig* < 0,05 maka *Ho* ditolak.

#### 4.6 Analisis Parameter kualitas air

Parameter kualitas air yang diukur pada uji toksisitas limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* meliputi intensitas cahaya, suhu, pH dan DO (*Dissolved Oxygen*) dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Data Hasil Pengukuran Kualitas Air Beserta Standar Baku Mutu

Parameter Kualitas Air	Hasil Pengamatan	Standar
Intensitas Cahaya (lux)	5835 – 5875	5000-10000 (Isnansetyo dan Kurniastuti, 1995)
Suhu (°C)	29,7 - 30,7	25 – 30 (Isnansetyo dan Kurniastuti, 1995)
pH	7,17 - 8,20	7,5 – 8,5 (Taw, 1990)
DO (mg/l)	5,02 – 6,10	>5,00 (Boyd,1982)

##### 4.6.1 Intensitas Cahaya

Faktor penting untuk pertumbuhan fitoplankton adalah cahaya. Menurut Harnadiemas (2012), cahaya memegang peranan penting dalam pertumbuhan organisme yang bersifat fotoautotrof seperti halnya *Chlorella vulgaris*. Cahaya dibutuhkan untuk *Chlorella vulgaris* untuk membelah diri dan melakukan proses fotosintesis. Cahaya juga berfungsi sebagai pembentuk senyawa karbon organik. Kebutuhan akan cahaya bervariasi tergantung volume kultifasi dan kepadatan dari fitoplankton. Intensitas cahaya yang terlalu tinggi dapat menyebabkan fotoinhibisi dan pemanasan (Utami *et al.*, 2012).

Pengamatan intensitas cahaya pada uji penelitian sesungguhnya dilakukan setiap hari sekali tepatnya pada pukul 13.00 WIB. Alat yang digunakan untuk pengukuran intensitas cahaya pada penelitian adalah *Lux* meter. Adapun data hasil dari pengamatan intensitas cahaya pada uji penelitian sesungguhnya toksisitas akut (LC<sub>50-96 jam</sub>) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada Lampiran 9.

Kisaran intensitas cahaya pada penelitian adalah sebesar 5835 – 5875 lux. Kisaran tersebut tergolong stabil dan baik untuk pertumbuhan fitoplankton. Perlakuan untuk penelitian menggunakan toples kapasitas 3 liter dengan volume media sebanyak 1 liter dengan kepadatan  $10^6$  sel/ml. Hal tersebut menunjukkan intensitas cahaya yang dibutuhkan untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* pada perlakuan adalah tergolong baik karena masih dalam kisaran  $>5000$  lux. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kawaroe, *et al.* (2010), bahwa intensitas cahaya yang dibutuhkan juga tergantung kepada volume media serta kepadatan dari mikroalga. Semakin tinggi kepadatan mikroalga dan volume media maka intensitas cahaya yang dibutuhkan juga semakin besar. Intensitas cahaya yang diperlukan untuk kultur pada erlenmayer adalah 1000 lux. Sedangkan untuk volume kultur yang lebih besar, dibutuhkan intensitas cahaya 5000-10.000 lux.

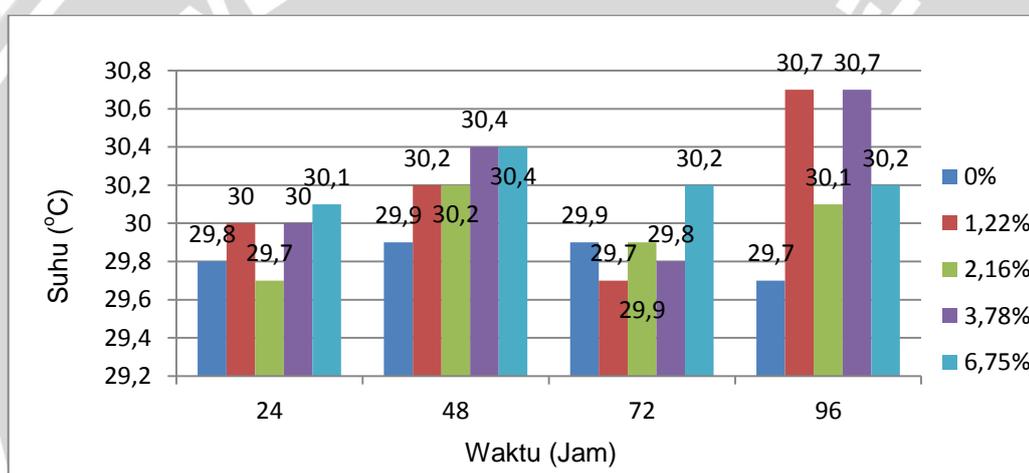
Harnadiemas (2012) juga menyatakan bahwa cahaya yang dibutuhkan *Chlorella vulgaris* sebagai energi untuk melakukan proses fotosintesis dan memperbanyak diri berkisar 3-6 klux. Ohama dan Miyachi (1988) dalam Prabowo (2009) juga menyatakan bahwa intensitas cahaya saturasi untuk *Chlorella vulgaris* berada pada intensitas 4000-6000 lux. Fotosintesis pada *Chlorella vulgaris* tidak lagi meningkat setelah titik intensitas cahaya tersebut. Pencahayaan yang tidak baik dapat menyebabkan efek *self-shading* yaitu peristiwa penutupan satu sel oleh sel lain akibat tidak meratanya cahaya yang didapatkan oleh fitoplankton (Dianursanti *et al.*, 2009).

#### 4.6.2 Suhu

Suhu merupakan faktor fisika yang sangat berpengaruh terhadap kondisi air di perairan. Suatu unsur yang terkandung didalamnya akan menentukan massa jenis air, mempercepat reaksi kimia air, densitas air, kejenuhan air dan mempengaruhi jumlah oksigen terlarut dalam air (Sipahutar *et al.*, 2013). Wardjo (1997) menyatakan bahwa setiap organisme mempunyai suhu

maksimum, optimum dan juga minimum untuk kelangsungan hidupnya. Kisaran suhu yang baik untuk menunjang pertumbuhan organisme perairan adalah 25–30°C (Frasawi *et al.*, 2013).

Pengamatan suhu pada penelitian sesungguhnya dilakukan setiap 8 jam sekali tepatnya pada pukul 05.00 WIB, 13.00 WIB dan 21.00 WIB selama 96 jam. Alat yang digunakan untuk pengukuran suhu pada penelitian adalah DO meter. Adapun data hasil dari kisaran rata-rata pengukuran suhu pada uji penelitian sesungguhnya toksisitas akut (LC<sub>50-96 jam</sub>) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada Gambar 13.



**Gambar 13.** Grafik Pengukuran Suhu

Berdasarkan Gambar 13, suhu yang diperoleh pada saat penelitian berkisar antara 29,7– 30,7°C. Hasil pengukuran suhu tersebut menunjukkan bahwa suhu dalam penelitian masih dalam kisaran yang normal dan adanya limbah cair rumah sakit yang dimasukkan pada perlakuan tidak menyebabkan perubahan suhu. Suhu tersebut merupakan suhu yang masih optimum untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. Hal ini sesuai dengan pernyataan Nurhayati, *et al.* (2013), yang menyebutkan bahwa suhu optimum untuk pertumbuhan dan pembelahan sel *Chlorella vulgaris* berkisar antara 23-30°C.

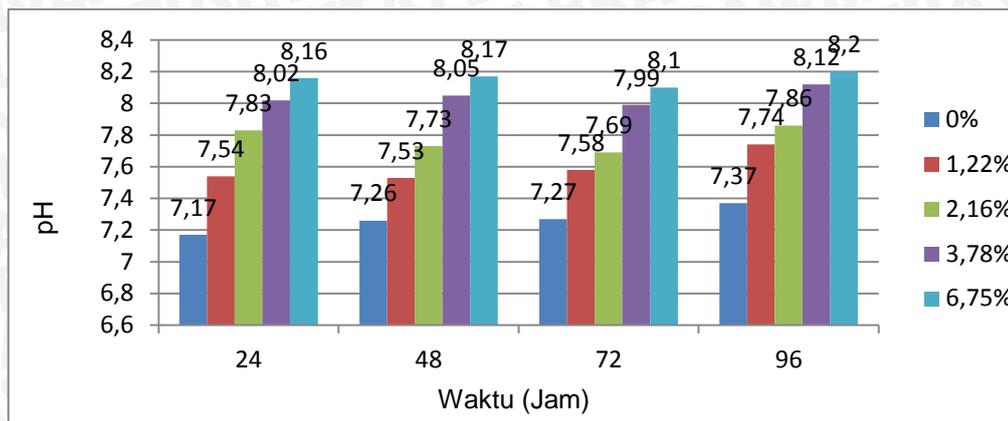
Suhu juga mempengaruhi semua aktifitas pertumbuhan dan pembelahan sel *Chlorella vulgaris*. Variasi suhu pada penelitian juga mempengaruhi proses

fotosintesis yang dilakukan *Chlorella vulgaris*. Hal ini sesuai dengan pendapat Supiyati (2012) yang menjelaskan bahwa suhu juga sangat penting dalam perairan. Suhu mempengaruhi semua aktifitas pertumbuhan dan pembelahan sel fitoplankton. Selain itu, suhu dapat juga mempengaruhi kondisi kesetimbangan respirasi sel dan fotosintesis. Suhu yang meningkat menyebabkan respirasi juga meningkat yang mengakibatkan kemampuan berfotosintesis akan menurun. Suhu mempengaruhi proses-proses fisika, kimia, biologi yang berlangsung dalam sel fitoplankton. Peningkatan suhu hingga batas tertentu akan merangsang aktifitas molekul, meningkatnya laju difusi dan juga laju fotosintesis (Sachlan 1982 dalam Taw 1990). Suhu dibawah 16°C dapat menyebabkan kecepatan perkembangbiakan *Chlorella vulgaris* menurun, sedangkan suhu diatas 36°C dapat menyebabkan kematian (Taw 1990).

#### 4.6.3 Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH atau derajat keasaman merupakan salah satu parameter kualitas air yang penting karena menunjukkan sifat keasaman atau kebasahan air yang banyak mempengaruhi nilai pemanfaatan air tersebut (Prabowo *et al.*, 2010). Menurut Pescod (1977) dalam Prabowo *et al.* (2010), nilai pH untuk memenuhi syarat untuk kehidupan organisme perairan adalah antara 6,2–8,5. Nilai pH dibawah 4 akan membatasi keragaman organisme.

Pengamatan pH pada penelitian sesungguhnya dilakukan setiap 8 jam sekali tepatnya pada pukul 05.00 WIB, 13.00 WIB dan 21.00 WIB selama 96 jam. Alat yang digunakan untuk pengukuran pH pada penelitian adalah pH meter. Adapun data hasil dari kisaran rata-rata pengukuran pH pada uji penelitian sesungguhnya toksisitas akut (LC<sub>50-96 jam</sub>) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada Gambar 14.



**Gambar 14.** Grafik Pengukuran pH

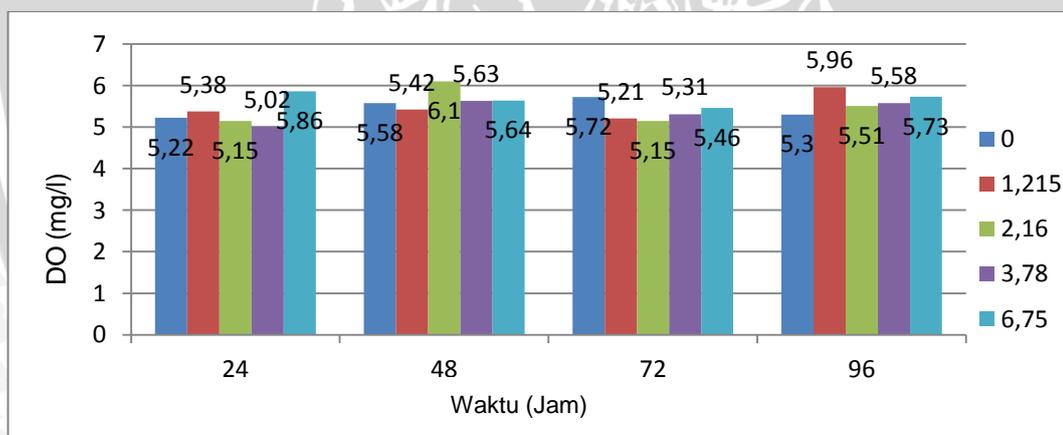
Berdasarkan Gambar 14, nilai pH berkisar antara 7,17 – 8,20. Dijelaskan bahwa pH pada penelitian uji toksisitas akut limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* tergolong pada kisaran pH yang masih normal untuk kehidupan *Chlorella vulgaris*. Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Taw (1990), bahwa kisaran pH yang baik untuk pertumbuhan mikroalga atau fitoplankton khususnya *Chlorella vulgaris* adalah kisaran pH 7,5-8,5. Sementara itu, pH yang optimum bagi perkembangan *Chlorella vulgaris* adalah 7,0-8,0 (Wijoseno, 2011).

Nilai pH pada penelitian cenderung naik seiring bertambahnya konsentrasi pemberian limbah cair rumah sakit, meskipun masih dalam kisaran pH normal. Hal ini disebabkan air limbah rumah sakit mempunyai kecenderungan pH ke arah basa berkisar 7,90 – 8,9, sehingga menyebabkan kondisi media dengan konsentrasi 6,75% memiliki pH cenderung basa. Hal ini diperkuat dengan pernyataan Sugiharto (1987), bahwa air limbah yang berasal instansi pemerintah seperti rumah sakit cenderung memiliki kisaran nilai pH yang basa berkisar 8,0 – 9,0 karena banyaknya limpasan zat aktif seperti deterjen dan zak aktif bahan-bahan kimia yang berasal dari laboratorium. Lavens dan Sorgeloos (1996), menyatakan pada proses fotosintesis, penyerapan karbondioksida dalam perairan terjadi sehingga dapat mengakibatkan peningkatan pH medium. Rata-rata pH optimum untuk spesies fitoplankton adalah berkisar 7,0-9,0.

#### 4.6.4 Dissolved Oxygen (DO)

Oksigen terlarut (DO) merupakan parameter kualitas air yang sangat penting karena keberadaannya mutlak diperlukan oleh organisme untuk proses respirasi (Effendi *et al.*, 2006). Kelarutan oksigen di dalam air dipengaruhi oleh suhu, tekanan parsial gas-gas yang ada di udara maupun air, kadar garam, serta adanya senyawa atau unsur yang mudah teroksidasi di dalam air (Wahyudi, 1999).

Pengamatan DO pada penelitian sesungguhnya dilakukan setiap 8 jam sekali tepatnya pada pukul 05.00 WIB, 13.00 WIB dan 21.00 WIB selama 96 jam. Alat yang digunakan untuk pengukuran DO pada penelitian adalah DO meter. Adapun data hasil dari kisaran rata-rata pengukuran DO pada uji penelitian sesungguhnya toksisitas akut ( $LC_{50-96 \text{ jam}}$ ) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik Pengukuran DO

Berdasarkan Gambar 15, nilai DO yang diperoleh berkisar antara 5,02 – 6,10 mg/l. Dijelaskan bahwa oksigen terlarut pada penelitian uji toksisitas akut limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* tergolong pada kisaran oksigen terlarut yang masih normal untuk kehidupan *Chlorella vulgaris*. Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Boyd (1982), bahwa kisaran oksigen terlarut yang baik untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* adalah >5,00. Sementara

itu kadar oksigen terlarut untuk yang optimum untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris* berkisar antara 4,5–6,5 mg/l. Nilai standar oksigen terlarut untuk kehidupan *Chlorella vulgaris* harus >3,0 mg/L (Chisti, 2007). Sebagai organisme akuatik fotosintetik, *Chlorella vulgaris* membutuhkan oksigen untuk proses respirasi sel, dimana pada peristiwa respirasi ini akan dihasilkan energi untuk pertumbuhan dan perkembangan sel-selnya, sehingga ketersediaan oksigen dilingkungan sangat dibutuhkan oleh *Chlorella vulgaris* (Wahyudi, 1999).

Walaupun kadar oksigen terlarut pada media mencukupi atau normal untuk kehidupan *Chlorella vulgaris*, akan tetapi kadar oksigen tersebut tergolong cukup rendah, apabila dalam media terdapat aerasi berupa aerator set. Seharusnya DO dalam media harus berada pada kisaran > 7,00 mg/l, karena selain terdapat aerasi, *Chlorella vulgaris* juga dapat melakukan fotosintesis yang menghasilkan oksigen terlarut. Normalnya DO dalam media seharusnya cukup tinggi. Keberadaan DO yang cukup rendah dapat disebabkan adanya pemberian limbah pada media pengujian. Menurut Effendi (2003) menyatakan bahwa dimana jika perairan terpapar oleh limbah dengan kadar yang cukup tinggi maka kadar oksigen terlarut diperairan akan cepat mengalami pengurangan. Hal ini dikarenakan limbah memiliki komposisi kandungan yang menyebabkan oksigen terlarut didalam perairan yang terpapar limbah menjadi rendah. Selain itu, limbah cair rumah sakit merupakan limbah yang banyak mengandung mikroorganisme khususnya bakteri. Menurut Sugiharto (1987) menyatakan keberadaan bakteri khususnya pada limbah cair rumah sakit dapat menyebabkan oksigen terlarut menurun secara drastis, karena bakteri memerlukan O<sub>2</sub> yang terlarut dalam air untuk mengoksidasi bahan organik yang terkandung dalam limbah. Selain itu bakteri (bakteri aerob pada khususnya) juga membutuhkan oksigen terlarut untuk metabolisme dan respirasi mereka, sehingga secara tidak langsung O<sub>2</sub> didalam media penelitian tidak terlampau tinggi.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian mengenai uji toksisitas akut ( $LC_{50-96jam}$ ) limbah cair rumah sakit terhadap kepadatan *Chlorella vulgaris* maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai  $LC_{50-96jam}$  limbah cair rumah sakit sebesar 13,35 ml/l dengan perhitungan menggunakan analisis probit. Hal ini menunjukkan bahwa *Chlorella vulgaris* mengalami mortalitas sebesar 50%, setelah dipapar oleh limbah cair rumah sakit selama 96 jam pada konsentrasi 13,35 ml/l.
2. Kepadatan *Chlorella vulgaris* setelah terpapar limbah cair rumah sakit menurun dari kepadatan awal. Dimana semakin tinggi konsentrasi dan semakin lama waktu pemaparan dari limbah cair rumah sakit, kepadatan *Chlorella vulgaris* menurun dan mortalitasnya meningkat.
3. Kisaran kualitas air yang diperoleh dalam penelitian tergolong kepada kisaran normal untuk pertumbuhan *Chlorella vulgaris*. Dimana kisaran intensitas cahaya berkisar 5835 – 5875 lux, suhu berkisar 29,7 – 30,7°C, pH berkisar 7,17 – 8,20, dan oksigen terlarut berkisar 5,02 – 6,10 mg/l.

### 5.2 Saran

Nilai  $LC_{50-96 jam}$  sebesar 13,35 ml/l dapat membunuh *Chlorella vulgaris* sebesar 50%, sehingga disarankan limbah cair rumah sakit yang masuk ke badan perairan tidak boleh melebihi nilai tersebut. Oleh karena itu, sebaiknya perlu menerapkan IPAL khususnya pada rumah sakit yang belum terdapat IPAL. Kemudian lebih memperhatikan pengelolaan limbah pada rumah sakit yang telah memiliki IPAL khususnya limbah cair. Pengelolaan yang tepat dan sempurna dibutuhkan untuk memenuhi baku mutu limbah cair rumah sakit sebelum memasuki badan perairan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afnani, A. 2010. *Daya Tumbuh Bakteri dari Limbah Cair Rumah Sakit yang Berpotensi Mendegradasi Fenol terhadap Variasi Konsentrasi Glukosa dan Fenol (SKRIPSI)*. UIN Sunan Kalijaga : Yogyakarta.
- Akbar, T. M. 2008. *Pengaruh Cahaya Terhadap Senyawa Antibakteri Dari Chaetoceros gracilis (SKRIPSI)*. Institut Pertanian Bogor : Bogor.
- Akbar, A. E. T. dan Sudarmaji. 2010. *Efektivitas Sistem Pengolahan Limbah Cair dan Keluhan Kesehatan Pada Petugas Ipal Di Rsud Dr. M Soewandhie Surabaya. The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*. II (1) : 82–89.
- Alderich, J.H. dan Nelson, F.D. 1984. *Linier Probability, Logit dan Probit Models, Series Quantitative Applications in the Sosial Sciences*. Sage Publication. California.
- Andreas, S. Q., Suminto dan D. Chilmawati. 2014. *Studi Pola Pertumbuhan dan Kualitas Sel Chlorella Sp. yang Dihasilkan Melalui Teknologi Pencucian Bibit Sel. Journal of Aquaculture Management and Technology*. III (4) : 273-280.
- Angga, M. 2012. *Pencemaran Perairan dan Permasalahannya. Jurnal Pencemaran Air*. II (1) : 1-7.
- APHA. 1998. *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. Fourteenth Edition*. American Public Health Association. America.
- Arty, I. S. 2006. *Peran Kimia Pendidikan Kimia Dan Industri Kimia Dalam Pembangunan Yang Berwawasan Lingkungan. Prosiding Seminar Nasional Kimia*. Universitas Negeri Yogyakarta : Yogyakarta.
- Atmoko, T. dan A. Ma'ruf. 2009. *Uji Toksisitas Dan Skrining Fitokimia Ekstrak Tumbuhan Sumber Pakan Orangutan Terhadap Larva Artemia Salina L. Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*. VI (1) : 37-45.
- Ayuningtyas, R. D. 2009. *Proses Pengolahan Limbah Cair Di Rsud Dr. Moewardi Surakarta*. Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret : Surakarta.
- Boroh, R. 2012. *Pengaruh pertumbuhan Chlorella sp. pada beberapa Kombinasi Media Kultur. (SKRIPSI)*. Jurusan Biologi Universitas Hasanuddin. Makasar.
- Boyd, C E. 1982. *Water Quality Management for Pond Fish. Culture Elseve Scientific Company*. Amsterdam : Belanda.
- Boyd, C. E. 2005. *Toxicity Can Result From Contamination Of Culture Systems By Pesticides, Heavy Metals, Or Industrial Chemicals*. Global Aquaculture Advocate. Amsterdam : Belanda.

- Cahyono, R. 2007. *Dampak Limbah Cair PT Kertas Basuki Rachmat, Banyuwangi Terhadap Kesehatan Masyarakat (TESIS)*. Universitas Diponegoro : Semarang.
- Carlsson, A.S., Bellen, J.B.V., Moller, R., And Clayton, D., 2007, *Micro And Macro Algae: Utility For Industrial Applications*. Epobio Project : USA.
- Casey, T. J. 1997. *Unit treatment process in water and wastewater engineering*. University College Dublin. Irelan : John Wley and Sons Ltd.
- Chilmawati, D. 2009. *Pengaruh Pencucian Bibit Sel terhadap Pertumbuhan dan Nilai Nutrisi Diatom, Chaetoceros gracilis dan Skeletonema costatum, serta Perkembangan Larva Udang Vaname (L. vanamei)*. [Tesis]. MSDP Prog. Pasca Sarjana UNDIP, Semarang.
- Chisti, Y. 2007. *Biodiesel From Microalgae. Biotechnology Advances*. Vol. 25. hal.294-306. Institute of Technology and Engineering, Massey University. Private Bag 11, 222. Palmerston North : New Zealand.
- Djaja, I. M. dan D. Maniksulistya. 2006. *Gambaran Pengelolaan Limbah Cair Di Rumah Sakit X Jakarta. Makara, Kesehatan*. X (2) : 60-63.
- Dianursanti, R. Nuzulliany, A. Wijanarko, dan M. Nasikin. 2009. *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella Vulgaris Melalui Perlakuan Teknik Pemerangkapan Sel dalam Aliran Sirkulasi Media Kultur. Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. VIII (3) : 87-93.
- Droste, R. R. 1997. *Theory and practice of water supply and wastewater treatment*. John Wiley and Sons Ltd. Toroto : Canada.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air. Kanisius* : Yogyakarta
- Effendi, H., Ernawan, A. H., Wardiatno, Y. Dan Kristianti, M. 2012. *Toksisitas Akut (Lc50) Serbuk Bor (Cuttings) Terhadap Daphnia Sp. Jurnal Bumi Lestari*. Xii (2) : 321-326.
- Effendi, I., H. J. Bugri, dan Widanarni. 2006. *Pengaruh Padat Penebaran Terhadap Kelangsungan Hidup dan Pertumbuhan Benih Ikan Gurami Osphronemus gouramy Lac. Ukuran 2 cm. Jurnal Akuakultur Indonesia*. V (2) : 127-135.
- Elrifadah, A., Mangalik, Gt. Chairuddin, B. Halang. 2011. *Penentuan Tingkat Toleransi Ikan Mas (Cyprinus carpio L.) terhadap Limbah Cair Industri Sasirangan. Enviro Scienteae*. II (7) : 138-149
- EPA (Enviromental Protection Agency). 1996. *Ecological Effect Test Guldelines. Fish Acute Toxicity Of Effluencts And Receiving Water To Freshwater And Marine Organisms*. Edisi 4. Washington Dc.
- EPA (Enviromental Protection Agency). 2002. *Method For Measuring The Acute Toxicity Of Effluents And Receiving Waters To Freshwater And Marine Organisms*. Edisi 4. Washington Dc

- Esmiralda, M. T. Dan Husni, H. 2012. *Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Industri Tahu Terhadap Ikan Mas (Cyprinus Carpio Linn). Studi Kasus : Limbah Cair Industri Tahu "Super" Padang.*
- Facta, M., M. Zainuri, Sudjadi dan E. P. Sakti. 2006. *Pengaruh Pengaturan Intensitas Cahaya yang Berbeda Terhadap Kelimpahan Dunaliella sp. dan Oksigen Terlarut dengan Simulator TRIAC dan Mikrokontroler AT89S52. Ilmu Kelautan. XI (2) : 67 – 71.*
- Fransisca, A. 2011. *Tingkat Pencemaran Perairan Ditinjau dari Pemanfaatan Ruang Di Wilayah Pesisir Kota Cilegon. Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota. 22 (2) : 145 – 160.*
- Frasawi, A., R. Rompas, dan J. Watung. 2013. *Potensi budidaya ikan di Waduk Embung Klamalu Kabupaten Sorong Provinsi Papua Barat : Kajian kualitas fisika kimia air. I (3) : 24 – 30.*
- Ghufran, H., Kordi, K., Dan Tancung, A. B. 2005. *Pengelolaan Kualitas Air Dalam Budidaya Perairan.* Rineka Cipta : Makasar
- Gondhowiardjo, S. 2008. *Pengolahan Limbah Rumah Sakit.* Ketua Departemen Radioterapi Perjan RSUPN Cipto Mangunkusumo. 41-50 halm.
- Google image. 2015. *Gambar Chlorella vulgaris.* <https://www.google.com/search?site-chlorella+vulgaris>. Diakses pada Tanggal 19 Januari 2015, Pukul 10:15 WIB.
- Guthrie, E. F. Dan Perry, J. J. 1980. *Introduction To Enviromental Toxicology Interdepartemental Program In Toxicology.* New York.
- Haqq, K. 2009. *Analisis Efektivitas Biaya Dan Penilaian Masyarakat Terhadap Pengelolaan Limbah Rumah Sakit Telogorejo Semarang.* Departemen Ekonomi Sumberdaya Dan Lingkungan. Institut Pertanian Bogor : Bogor.
- Handayani, D. 2001. *Pengaruh Intensitas Cahaya yang Berbeda Terhadap Pertumbuhan Populasi Isochrysis galbana Klon Tahiti (SKRIPSI).* Institut Pertanian Bogor : Bogor.
- Harnadiemas, R. F. 2012. *Evaluasi Pertumbuhan Dan Kandungan Esensial Chlorella Vulgaris Pada Kultivasi Fotobioreaktor Outdoor Skala Pilot Dengan Pencahayaan Terang Gelap Alami. (Skripsi).* Universitas Indonesia : Depok.
- Herniwati. 2012. *Uji Kelayakan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Pt. Perkebunan Nusantara li Prafi-Monokwari.* Skripsi. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Papua, Monokwari.
- Husni, H. dan M. Esmiralda. 2010. *Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Industri Tahu Terhadap Ikan Mas (Cyprinus Carpio Lin) (Studi Kasus: Limbah Cair Industri Tahu "Super", Padang).* Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Andalas : Padang.

- Isnansetyo, A. dan Kurniastuty. 1995. Teknik Kultur Phytoplankton dan Zooplankton Pakan Alami untuk Pembenihan Organisme Laut. Kanisius. Yogyakarta.
- Jainuri, M. 2014. *Aplikasi Komputer (SPSS) : Analisis Data Komparatif (T-Test)*. Pertemuan ke 10.
- Jusar, I. 2014. *Studi Kesesuaian Kualitas Air Danau Diatas untuk Budidaya Ikan Gurami Sistem Keramba Di Nagari Alahan Panjang Kecamatan Lembah Gumanti*. Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pengetahuan PGRI Sumatera Barat. Padang.
- Kaplowitz, N. 2002. Biochemical and cellular mechanism of toxic liver injury. *Semin.Liver*. Dis.22: 137-144
- Karim, A. 2011. *Perbaikan Mutu Limbah Cair Rumah Sakit dengan Beberapa Isolat Mikroba*. Universitas medan Area : Medan.
- Kawaroe, M., T. Prartono, A. Sunuddin. D. W. Sari dan D. Augustine. 2010. Mikroalga (Potensi dan Pemanfaatannya untuk Produksi Bio Bahan Bakar). IPB Press : Bogor. 165 hlm.
- KemenkesRI. 2009. 659/MENKES/PER/VIII/2009. tentang Standar dan Kriteria Rumah Sakit Indonesia Kelas Dunia.
- Kerubun, A. A., M. Selomo, dan Ruslan. 2014. *Studi Kualitas Limbah Cair Di Rumah Sakit Umum Daerah Tulehu Provinsi Maluku*. Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Ambon. 1-9 halm.
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. 1988. *Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor: Kep-02/Menklh/I/1988 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan*. Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup : Jakarta.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2002. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-58/MNLH/12/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit*. Kementrian Lingkungan Hidup : Jakarta.
- Kiwol, C. B. D. J. 2008. *Analisis Logam Berat Merkuri (Hg) pada Gastropoda, Lumpur dan Air Di Teluk Amurang Kabupaten Minahasa Selatan*. *Chem. Prog.* 1 (2) : 71-77.
- Kusnoputranto, H. 1997. *Air Limbah dan Ekskreta Manusia*. Jakarta: Dirjen Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Lavens, P. and P. Sorgeloos. 1996. *Manual on the production and use live food for aqua culture*. FAO Fisheries Technical Paper 361.
- Lestari, R. P. 2011. *Pengujian Kualitas Air Di Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Mojosongo Kota Surakarta*. (SKRIPSI). Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

- Loomis, T.A. 1978, *Toksikologi Dasar*, diterjemahkan oleh Imono Argo Donatos, Edisi III, IKIP Semarang Press, Semarang
- Lucky, W. N. 2012. *Kajian Kemampuan Degradasi dan Identifikasi Bakteri Pendegradasi Fenol dari Limbah Cair Rumah Sakit Tipe C (SKRIPSI)*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga : Yogyakarta.
- Maruyama, I. T. N., I. Shigeno, Y. Ando Dan K. Hirayama. 1997. *Application Of Unicellular Algae Chlorella Vulgaris For The Massculture Of Marine Rotifer Brachionus*. Hydrobiologia 358 : 133-138.
- Marzuki. 1983. *Metodologi Riset*. Bagian Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Islam Indonesia. Jogjakarta
- Megawati, I. A., A. Zulfikar dan W. R. Melani. 2011. *Uji Toksisitas Deterjen terhadap Ikan Nila (Orheochromis niloticus)*. FIKP UMRAH. Riau.
- Mubarok, K. 2009. *Pengelolaan Limbah*. Teknik Industri Universitas Airlangga, Surabaya.
- Murniasih, S. Dan Sukirno. 2012. *Kajian Kandungan Logam Berat B3 dalam Limbah Rumah Sakit Dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah*. Pusat teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN : Yogyakarta.
- Musa, B. I. Raya, S. Dali. 2010. *Pengaruh Penambahan Ion  $Cu^{2+}$  Terhadap Laju Pertumbuhan Fitoplankton Chlorella Vulgaris*. Universitas Hasanuddin Makassar : Sulawesi Selatan.
- Nazir, 2005. *Metode Penelitian*. Penerbit Ghalia Indonesia. Bogor.
- Negara, A. 2003. *Penggunaan Analisis probit untuk Pendugaan Tingkat Kepekaan Populasi Spodoptera exigua terhadap Deltemetrin Di Daerah Istimewa Yogyakarta*. *Informatika Pertanian*. XII (5) : 1-9.
- Novizan. 2002. *Membuat dan Memanfaatkan Pestisida, Pengelolaan Limbah Cair Ramah Lingkungan*. Agromedia Pusat, Jakarta.
- Nurhayati, T., M. B. Hermanto, dan M. Lutfi, 2013. *Penggunaan Fotobioreaktor Sistem Batch Tersirkulasi terhadap Tingkat Pertumbuhan Mikroalga Chlorella vulgaris, Chlorella sp. dan Nannochloropsis oculata*. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 1 (3) : 249-257.
- Pemana, I. Badruzaman, I. Kautsar, O. dan M, Kania. 2014. *Toksisitas Logam Krom (Cr) Terhadap Kelangsungan Hidup Artemia Sp Dan Daphnia Sp*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjadjaran : Bandung.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur. 2013. *Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Lainnya*. PERGUP JATIM NO 72.
- Peraturan Menteri Kesehatan. 1992. *Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit*. Permenkes Ri No : 986/Menkes/Per/1992.

- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2014. *Baku Mutu Air Limbah*. KEMEN-LH-NO 5/1815/2014.
- Permadi. 2011. *Utilitas Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit*. *Nalars*. X (2): 173-184.
- Phukan, M.M., R. S, Chutia, B.K. Konwar, R. Kataki. 2011. *Microalgae Chlorella as A Potential Bio-Energy Feedstock*. *Applied Energy*.
- Pikturalistiik, P. P. 2013. *Toksisitas Effluent Di Balai IPAL PUP-ESDM D.I.Y Terhadap Struktur Makroanatomi Hepar Ikan Mas (Cyprinus carpio L.) Ditinjau dari Kadar Pb dan Cr (SKRIPSI)*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga : Yogyakarta.
- Prabowo, D. A. 2009. *Optimasi Pengembangan Media untuk Pertumbuhan Chlorella sp. Pada Skala Laboratorium (SKRIPSI)*. Institut Pertanian Bogor : Bogor.
- Prabowo, R. E., E. R. Ardli, M. H. Sastranegara, W. Lestari dan G. Wijayanti. 2010. *Biodiversitas dan Bioteknologi Sumber daya Akuatik*. Prosiding Seminar Nasional Biologi. UNSOED. Purwokerto.
- Prassojo, F. Y., L. Sina, dan R. Erawaty. 2014. *Pengelolaan Limbah Cair Di Rumah Sakit Dirgahayu Kota Samarinda*. *Jurnal Beraja Niti*. III (4) : 1-28
- Prokoso, P. C., A. Romadhon, dan A. Arisandi. 2009. *Kajian Uji Hayati Air Limbah Hasil Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Dr. Ramelan Surabaya*. *Jurnal Kelautan*. II (1) : 27-31.
- Purnamawati, F. S., T. Retnaningsih, Soeprowati dan M. Izzati. 2013. *Pertumbuhan Chlorella Vulgaris Beijerinck Dalam Medium Yang Mengandung Logam Berat Cd Dan Pb Skala Laboratorium*. Seminar Nasional Biologi. :104-106.
- Ramdhini, R. N. 2010. *Uji Toksisitas Terhadap Artemia Salina Leach. Dan Toksisitas Akut Komponen Bioaktif Pandanus Conoideus Var. Conoideus Lam. Sebagai Kandidat Antikanker Skripsi Jurusan Biologi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret : Surakarta.
- Rand, G, M. 1980. *Introduction to Environmental Toxicology*. New York. Elsevier
- Rejeki, M., A. Probandari, dan Darmanto. 2014. *Optimisasi Manajemen Pengelolaan Limbah Cair Rumah Sakit Sebagai Upaya Peningkatan Level Higienitas Rumah Sakit Dan Lingkungan*. Simposium Nasional Rapi. Xiii (1) : 28-35.
- Rizky, Y. A., I. Raya dan S. Dali. 2010. *Penentuan Laju Pertumbuhan Sel Fitoplankton Chaetoceros Calcitrans, Chlorella Vulgaris, Dunaliella Salina, Dan Porphyridium Cruentum*. Universitas Hasanuddin Makassar : Sulawesi Selatan.

- Romziyah, R. 2012. *Studi Toksisitas Akut Timbal (Pb) terhadap Kijing Taiwan (Anodonta woodina)*. Universitas Brawijaya : Malang.
- Rumampuk, N. D., S. Tilaar, S. Wullur. 2010. *Median Letal Concentration (LC-50) Insectisida Diklorometan pada Nener Bandeng (Chanos chanos Fork)*. Perikanan dan Kelautan. VI (2) : 87-91.
- Sabarguna. B. S. dan A. K. Rubaya. 2011. *Sanitasi Air dan Limbah Rumah Sakit*. Salemba Medika. Jakarta. 130 hlm.
- Said, N. I. 1999. *Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Sistem "Biofilter Anaerob-aerob"*. Seminar Teknologi Pengelolaan Limbah II : prosiding. Jakarta. 16-7 Feb 1999.
- Said, N. I. 2000. *Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. I (2) : Jakarta.
- Salim, A. 2009. Deskripsi Dan Interpretasi. [www.ktiguru.org](http://www.ktiguru.org). Diakses tanggal 20 Desember 2015 pukul 22.00 WIB
- Saputri, E. A. F. 2015. Uji Toksisitas Akut (LC50-96jam) insektisida Prifonil terhadap Ikan Mas (*Cyprinus carpio* Linn) pada Bak-bak Percobaan (SKRIPS) Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya. Malang.
- Sari, I. P. dan A. Manan. *Pola Pertumbuhan Nannochloropsis Oculata Pada Kultur Skala Laboratorium, Intermediet, Dan Massal*. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*. IV (2) : 123-127.
- Sabayang, P., Muljadi, dan P. Budi. 1996. *Konstruksi dan Evaluasi Insinerator untuk Limbah Padat Dan Cair Rumah Sakit*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Fisika Terapan. Bandung.
- Setyaningsih, I., Desniar dan E. Purnamasari. 2012. Antimikroba dari *Chaetoceros gracilis* yang Dikultivasi dengan Lama Penyinaran Berbeda. *Jurnal Akuatika*. III (2) : 180-189.
- Setyawan, A. B. dan E. Hartini. 2012. *Evaluasi Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit Dengan Sistim Bio Natural (Studi Kasus Di Rsud Kelet Jepara)*. *Jurnal Visikes*. XI (1) : 50-131
- Setyorini, A. 2014. Uji Toksisitas Akut LC<sub>50</sub> Limbah Cair Dari Industri Tahu Terhadap Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) Pada Bak- Bak Percobaan. Skripsi. Univesitas Brawijaya. Malang
- Sianturi, P. M. B. Mulya, dan R. Ezraneti. 2012. Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Industri Tahu Terhadap Ikan Patin (*Pangasius Sp.*) Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara : Sumatera Utara.

- Sipahutar, L. W., Dwinna A., Winaruddin., Nazaruddin. 2013. *Gambaran Histopatologi Insang Ikan Nila (Oreochromis niloticus) yang Dipelihara Dalam Temperatur Air Di Atas Normal*. Jurnal Medika. ISSN : 0853-1943.
- Siregar, S.A., 2005. *Instalasi Pengelolaan Air Limbah*. Kanisius : Yogyakarta.
- Soemirat. 2003. *Toksikologi Lingkungan*. Gajah Mada University Press : Yogyakarta.
- Soeparman, H.M. 2001. *Pembuangan Tinja dan Limbah Cair*. Penerbit Buku Kedokteran (EGC).
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 1989. *Metode Pengujian Kualitas Fisika Air*. Yayasan LPMB, Departemen Pekerjaan Umum : Bandung.
- Subekti, S. 2010. *Pengaruh Dan Dampak Limbah Cair Rumah Sakit Terhadap Kesehatan Serta Lingkungan*. Universitas Pandanaran : Semarang 1-6 halm.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. UI Press : Jakarta. 198 hlm.
- Suminto dan K. Hirayama. 1997. *Application of a Growth – Promotion Bacteria for Stable Mass Culture of Three Marine Microalgae*. Development in Hydrobiology, Live food in Aquaculture. Kluwer Academic Publishers., Part III : 223 – 230.
- Supiyati., Halauddin dan A. Gandika. 2012. *Karakteristik dan Kualitas Air di Muara Sungai Hitam Provinsi Bengkulu dengan Software Som Toolbox 2*. *Jurnal Ilmu Fisika Indonesia*. 1 (2) : 27-38.
- Suryabarata, S. 1994. *Metodologi penelitian*. Rajawali Jakarta : Jakarta
- Suryanto, A.M. 2011. *Pencemaran Lingkungan (Sumber, Dampak, dan Upaya Penanggulangannya)*. Diktat Kuliah Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu kelautan Universitas Brawijaya. Malang.
- Syarif, A. 2007. *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella vulgaris Buitenzorg dengan Filtrasi Aliran Sirkulasi medium kultur pada Pencahayaan Altrasi*. Departemen Gas dan Petrokimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia : Jakarta.
- Syafriadiman. 2007. *Toksisitas Limbah Industri Kelapa Sawit terhadap Kelimpahan Algae Hijau (Ulothrix implexa)*. *Berkala Perikanan Terubuk*, 35 (1) : 48-65. ISSN 0126-4265.
- Taw. 1990. *Petunjuk Pemeliharaan Kultur Murni dan Massal Mikro Alga*. Proyek Pengelolaan Budidaya Ikan Jepara. Jakarta.
- Utami, A. 2008. *Uji Toksisitas Ekstrak Daun Sirsak sebagai Pestisida Nabati dengan Ikan Mas*. SKRIPSI. IKIP PGRI : Semarang.

- Utami, N. P., M. S. Yuniarti dan K. Haetami. 2012. *Pertumbuhan Chlorella sp. yang Di Kultur pada Perioditas Cahaya yang berbeda. Jurnal Perikanan dan Kelautan*. III (3) : 237-244.
- Wahyudi, P. 1999. *Chlorella : Mikroalga Sumber Protein Sel Tunggal. Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. I (5) : 35-41.
- Wardojo, S.T.M. 1987. *Pengaruh Pestisida Terhadap Kehidupan Perairan*. Lembaga Pusat Penelitian : Bogor. 292 hlm.
- Wijoseno, T. 2011. *Uji Pengaruh Variasi Media Kultur Terhadap Tingkat Pertumbuhan dan Kandungan Protein, Lipid, Klorofil dan Karotenoid pada Mikroalga Chlorella vulgaris. (SKRIPSI)*. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok : Jakarta.
- Wirasuta, I. M. A. G. dan R. Niruri. 2006. *Toksikologi Umum*. Universitas Udayana : Bali. 1-124 hlm.
- Wirosaputro, S. 2002. *Chlorella Untuk Kesehatan Global Teknik Budidaya Dan Pengelolaan*. Gajah Mada University Press : Yogyakarta.
- Yanuar, R. 2011. *Prosedur Penggunaan Sound Lux Meter*. Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya : Malang.
- Zahir. F. N. 2011. *Peningkatan Produksi Biomassa Chlorella Vulgaris Dengan Perlakuan Mikrofiltrasi Pada Sirkulasi Aliran Medium Kultur Sebagai Bahan Baku Biodiesel*. Universitas Indonesia : Depok.



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Tabel Skala Logaritmik

Skala konsentrasi yang dapat digunakan untuk menentukan variasi konsentrasi pada perlakuan suatu bioassay berdasarkan atas *interval progressive bisection* pada suatu skala logaritmik (Guthrie dan Perry, 1980).

Tabel skala logaritmik menurut Guthrie dan Perry, 1980

Kolom				
1	2	3	4	5
1	-	-	-	-
-	-	-	-	0.87
-	-	-	0.75	-
-	-	-	-	0.65
-	-	0.56	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	0.42	-
-	-	-	-	0.37
-	0.32	-	-	-
-	-	-	-	0.28
-	-	-	0.24	-
-	-	-	-	0.21
-	-	0.18	-	-
-	-	-	-	0.155
-	-	-	0.135	-
-	-	-	-	0.115
0.1	-	-	-	-

Tabel skala logaritmik yang digunakan dalam penelitian

Kolom				
1	2	3	4	5
9	-	-	-	-
-	-	-	-	7.83
-	-	-	6.75	-
-	-	-	-	5.85
-	-	5.04	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	3.78	-
-	-	-	-	3.33
-	2.88	-	-	-
-	-	-	-	2.52
-	-	-	2.16	-
-	-	-	-	1.89
-	-	1.62	-	-
-	-	-	-	1.395
-	-	-	1.215	-
-	-	-	-	1.035
0.9	-	-	-	-

## Lampiran 2. Data Hasil Penyediaan Stok Kultur

### Penyediaan Stok Kultur untuk Uji Pendahuluan

Pengamatan Hari Ke-	Kepadatan <i>Chlorella vulgaris</i> (sel/ml)		
	Toples 1	Toples 2	Rata-rata toples 1 dan 2
0	$6,5 \times 10^5$	$4,25 \times 10^5$	$5,375 \times 10^5$
1	$7,25 \times 10^5$	$7,25 \times 10^5$	$7,25 \times 10^5$
2	$1,475 \times 10^6$	$2,25 \times 10^6$	$1,8625 \times 10^6$
3	$4,72 \times 10^6$	$4,5 \times 10^6$	$4,61 \times 10^6$
4	$6,92 \times 10^6$	$6,5 \times 10^6$	$6,71 \times 10^6$
5	$1,145 \times 10^7$	$1,125 \times 10^7$	$1,135 \times 10^7$

### Penyediaan Stok Kultur untuk Uji Sesungguhnya

Pengamatan Hari Ke-	Kepadatan <i>Chlorella vulgaris</i> (sel/ml)		
	Toples 1	Toples 2	Rata-rata toples 1 dan 2
0	$3,75 \times 10^5$	$3,0 \times 10^5$	$3,375 \times 10^5$
1	$1,125 \times 10^6$	$7,75 \times 10^5$	$9,5 \times 10^5$
2	$2,975 \times 10^6$	$2,25 \times 10^6$	$2,6125 \times 10^6$
3	$6,8 \times 10^6$	$5,5 \times 10^6$	$6,15 \times 10^6$
4	$9,075 \times 10^6$	$8,275 \times 10^6$	$8,675 \times 10^6$
5	$1,132 \times 10^7$	$1,125 \times 10^7$	$1,1285 \times 10^7$

Lampiran 3. Tabel Hasil Uji Pendahuluan Pengamatan Mortalitas *Chlorella vulgaris* setiap 24 Jam Sekali

Consen trasi (%)	$\Sigma C.$ <i>vulgaris</i> (sel/ml)	HASIL PENGAMATAN HARIAN											
		24 JAM			48 JAM			72 JAM			96 JAM		
		$\Sigma C.$ <i>Vulgari</i> s (sel/ml)	Morta Litas (sel/ml)	% Morta litas	$\Sigma C.$ <i>Vulgari</i> s (sel/ml)	Morta litas (sel/ml)	% Morta Litas	$\Sigma C.$ <i>Vulgari</i> s (sel/ml)	Morta Litas (sel/ml)	% Morta Litas	$\Sigma C.$ <i>Vulgari</i> s (sel/ml)	Morta Litas (sel/ml)	% Morta Litas
0	$1.3 \times 10^6$	$1.475 \times 10^6$	0	0%	$2.225 \times 10^6$	0	0%	$2.5375 \times 10^6$	0	0%	$2.625 \times 10^6$	0	0%
0.09	$1.3 \times 10^6$	$1.31 \times 10^6$	0	0%	$1.3875 \times 10^6$	0	0%	$1.4025 \times 10^6$	0	0%	$1.3025 \times 10^6$	0	0%
0.9	$1.3 \times 10^6$	$1.15 \times 10^6$	$0.15 \times 10^6$	11.53 %	$9.5 \times 10^5$	$0.35 \times 10^6$	26.92 %	$8.0 \times 10^5$	$0.5 \times 10^6$	38.46 %	$7.0 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$	46.15
9	$1.3 \times 10^6$	$5.25 \times 10^5$	$0.775 \times 10^6$	59.61 %	$3.125 \times 10^5$	$0.9875 \times 10^6$	75.96 %	$2.625 \times 10^5$	$1.0375 \times 10^6$	79.81 %	$1.25 \times 10^4$	$1.2875 \times 10^6$	99.04 %
90	$1.3 \times 10^6$	$5.375 \times 10^5$	$0.7625 \times 10^6$	58.65 %	$1.5 \times 10^5$	$1.15 \times 10^6$	88.46 %	$8.75 \times 10^4$	$1.2125 \times 10^6$	93.27 %	$1.25 \times 10^4$	$1.2875 \times 10^6$	99.04 %

Lampiran 4. Data Hasil Uji Sesungguhnya Pengamatan *Chlorella vulgaris*

Tabel Hasil Uji Sesungguhnya Pengamatan Kepadatan *Chlorella vulgaris* setiap 8 Jam Sekali

Konsentrasi (%)	JAM KE- (sel/ml)													mortalitas (sel/ml)	% mortalitas
	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96		
0 (A)	$1.275 \times 10^6$	$1.575 \times 10^6$	$1.80 \times 10^6$	$1.85 \times 10^6$	$1.875 \times 10^6$	$1.90 \times 10^6$	$1.95 \times 10^6$	$1.975 \times 10^6$	$2.05 \times 10^6$	$2.125 \times 10^6$	$2.825 \times 10^6$	$2.125 \times 10^6$	$1.975 \times 10^6$	0	0
0 (B)	$1.275 \times 10^6$	$1.55 \times 10^6$	$1.725 \times 10^6$	$1.80 \times 10^6$	$1.90 \times 10^6$	$2.05 \times 10^6$	$2.075 \times 10^6$	$2.10 \times 10^6$	$2.175 \times 10^6$	$2.25 \times 10^6$	$2.375 \times 10^6$	$1.975 \times 10^6$	$1.85 \times 10^6$	0	0
0 (C)	$1.275 \times 10^6$	$1.35 \times 10^6$	$1.775 \times 10^6$	$1.80 \times 10^6$	$1.85 \times 10^6$	$1.95 \times 10^6$	$1.975 \times 10^6$	$2.025 \times 10^6$	$2.225 \times 10^6$	$2.35 \times 10^6$	$2.45 \times 10^6$	$2.125 \times 10^6$	$1.65 \times 10^6$	0	0
1.215 (A)	$1.275 \times 10^6$	$1.20 \times 10^6$	$1.175 \times 10^6$	$1.15 \times 10^6$	$1.10 \times 10^6$	$9.75 \times 10^5$	$9.25 \times 10^5$	$8.75 \times 10^5$	$7.75 \times 10^5$	$7.5 \times 10^5$	$6.25 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$	$6.5 \times 10^5$	$6.25 \times 10^5$	49.02
1,215 (B)	$1.275 \times 10^6$	$1.275 \times 10^6$	$1.25 \times 10^6$	$1.225 \times 10^6$	$1.20 \times 10^6$	$1.15 \times 10^6$	$1.10 \times 10^6$	$9.5 \times 10^5$	$9.25 \times 10^5$	$9.0 \times 10^5$	$8.75 \times 10^5$	$8.0 \times 10^5$	$7.5 \times 10^5$	$5.25 \times 10^5$	41.18
1,215 (C)	$1.275 \times 10^6$	$1.175 \times 10^6$	$1.025 \times 10^6$	$1.00 \times 10^6$	$9.5 \times 10^5$	$9.0 \times 10^5$	$8.75 \times 10^5$	$8.5 \times 10^5$	$8.0 \times 10^5$	$7.5 \times 10^5$	$7.05 \times 10^5$	$7.0 \times 10^5$	$6.25 \times 10^5$	$6.5 \times 10^5$	50.98
2.16 (A)	$1.275 \times 10^6$	$1.15 \times 10^6$	$1.05 \times 10^6$	$9.5 \times 10^5$	$9.0 \times 10^5$	$8.0 \times 10^5$	$8.5 \times 10^5$	$6.75 \times 10^5$	$6.5 \times 10^5$	$6.25 \times 10^5$	$5.75 \times 10^5$	$6.25 \times 10^5$	$4.51 \times 10^5$	$8.24 \times 10^5$	64.63
2,16 (B)	$1.275 \times 10^6$	$1.20 \times 10^6$	$1.10 \times 10^6$	$9.0 \times 10^5$	$8.5 \times 10^5$	$7.75 \times 10^5$	$7.25 \times 10^5$	$7.15 \times 10^5$	$7.0 \times 10^5$	$6.75 \times 10^5$	$5.75 \times 10^5$	$5.25 \times 10^5$	$5.0 \times 10^5$	$7.75 \times 10^5$	60.78
2,16 (C)	$1.275 \times 10^6$	$1.00 \times 10^6$	$9.75 \times 10^5$	$8.5 \times 10^5$	$8.0 \times 10^5$	$8.0 \times 10^5$	$7.5 \times 10^5$	$7.0 \times 10^5$	$6.75 \times 10^5$	$6.5 \times 10^5$	$5.0 \times 10^5$	$4.5 \times 10^5$	$4.5 \times 10^5$	$8.25 \times 10^5$	64.71
3.78 (A)	$1.275 \times 10^6$	$1.025 \times 10^6$	$1.02 \times 10^6$	$9.0 \times 10^5$	$8.0 \times 10^5$	$7.75 \times 10^5$	$6.5 \times 10^5$	$5.50 \times 10^5$	$4.50 \times 10^5$	$2.75 \times 10^5$	$2.75 \times 10^5$	$2.5 \times 10^5$	$2.5 \times 10^5$	$1.025 \times 10^6$	80.39
3,78 (B)	$1.275 \times 10^6$	$1.15 \times 10^6$	$9.5 \times 10^5$	$8.75 \times 10^5$	$8.25 \times 10^5$	$8.05 \times 10^5$	$7.0 \times 10^5$	$5.75 \times 10^5$	$4.50 \times 10^5$	$3.5 \times 10^5$	$3.00 \times 10^5$	$2.5 \times 10^5$	$1.75 \times 10^5$	$1.1 \times 10^6$	86.27
3,78 (C)	$1.275 \times 10^6$	$9.75 \times 10^5$	$8.25 \times 10^6$	$7.75 \times 10^5$	$7.00 \times 10^5$	$6.25 \times 10^5$	$5.75 \times 10^5$	$4.75 \times 10^5$	$3.5 \times 10^5$	$2.75 \times 10^5$	$1.75 \times 10^5$	$1.5 \times 10^5$	$7.5 \times 10^4$	$1.2 \times 10^6$	94.12
6.75 (A)	$1.275 \times 10^6$	$8.5 \times 10^5$	$8.0 \times 10^5$	$7.5 \times 10^5$	$7.25 \times 10^5$	$6.75 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$	$5.25 \times 10^5$	$4.00 \times 10^5$	$2.5 \times 10^5$	$1.75 \times 10^5$	$1.25 \times 10^5$	$1.0 \times 10^5$	$1.175 \times 10^6$	92.16
6,75 (B)	$1.275 \times 10^6$	$8.5 \times 10^5$	$7.25 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$	$3.75 \times 10^5$	$3.00 \times 10^5$	$2.5 \times 10^5$	$2.25 \times 10^5$	$2.00 \times 10^5$	$1.25 \times 10^5$	$1.05 \times 10^5$	$1.0 \times 10^5$	$7.5 \times 10^4$	$1.2 \times 10^6$	94.12
6,75 (C)	$1.275 \times 10^6$	$8.0 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$	$4.75 \times 10^5$	$3.75 \times 10^5$	$2.75 \times 10^5$	$2.25 \times 10^5$	$2.0 \times 10^5$	$1.75 \times 10^5$	$1.5 \times 10^5$	$1.0 \times 10^5$	$7.5 \times 10^4$	$2.5 \times 10^4$	$1.25 \times 10^6$	98.04

Lanjutan

Tabel Hasil Uji Sesungguhnya Pengamatan Rata-rata Kepadatan *Chlorella vulgaris* setiap 8 Jam Sekali

Konsentrasi (%)	JAM KE- (sel/ml)													Mortalitas (sel/ml)	% mortalitas
	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96		
0	1.275 x 10 <sup>6</sup>	1.492 x 10 <sup>6</sup>	1.767 x 10 <sup>6</sup>	1.82 x 10 <sup>6</sup>	1.875 x 10 <sup>6</sup>	1.967 x 10 <sup>6</sup>	2.00 x 10 <sup>6</sup>	2.03 x 10 <sup>6</sup>	2.15 x 10 <sup>6</sup>	2.242 x 10 <sup>6</sup>	2.55 x 10 <sup>6</sup>	2.075 x 10 <sup>6</sup>	1.825 x 10 <sup>6</sup>	0	0
1.215	1.275 x 10 <sup>6</sup>	1.217 x 10 <sup>6</sup>	1.15 x 10 <sup>6</sup>	1.125 x 10 <sup>6</sup>	1.083 x 10 <sup>6</sup>	9.75 x 10 <sup>5</sup>	9.67 x 10 <sup>5</sup>	8.917 x 10 <sup>5</sup>	8.33 x 10 <sup>5</sup>	8.0 x 10 <sup>5</sup>	7.35 x 10 <sup>5</sup>	7.0 x 10 <sup>5</sup>	6.75 x 10 <sup>5</sup>	6.0 x 10 <sup>5</sup>	47.06
2.16	1.275 x 10 <sup>6</sup>	1.117 x 10 <sup>6</sup>	1.042 x 10 <sup>6</sup>	9.0 x 10 <sup>5</sup>	8.5 x 10 <sup>5</sup>	8.583 x 10 <sup>5</sup>	7.75 x 10 <sup>5</sup>	6.97 x 10 <sup>5</sup>	6.75 x 10 <sup>5</sup>	6.5 x 10 <sup>5</sup>	5.5 x 10 <sup>5</sup>	5.33 x 10 <sup>5</sup>	4.67 x 10 <sup>5</sup>	8.08 x 10 <sup>5</sup>	63.37
3.78	1.275 x 10 <sup>6</sup>	1.05 x 10 <sup>6</sup>	6.257 x 10 <sup>5</sup>	8.5 x 10 <sup>5</sup>	7.75 x 10 <sup>5</sup>	7.35 x 10 <sup>5</sup>	6.417 x 10 <sup>5</sup>	5.33 x 10 <sup>5</sup>	4.167 x 10 <sup>5</sup>	3.00 x 10 <sup>5</sup>	2.5 x 10 <sup>5</sup>	2.167 x 10 <sup>5</sup>	1.67 x 10 <sup>5</sup>	1.108 x 10 <sup>6</sup>	86.90
6.75	1.275 x 10 <sup>6</sup>	8.33 x 10 <sup>5</sup>	7.083 x 10 <sup>5</sup>	6.083 x 10 <sup>5</sup>	4.917 x 10 <sup>5</sup>	4.167 x 10 <sup>5</sup>	3.583 x 10 <sup>5</sup>	3.167 x 10 <sup>5</sup>	2.583 x 10 <sup>5</sup>	1.75 x 10 <sup>5</sup>	1.267 x 10 <sup>5</sup>	1.00 x 10 <sup>5</sup>	6.67 x 10 <sup>4</sup>	1.2083 x 10 <sup>6</sup>	94.77

Lanjutan

Tabel Hasil Uji Sesungguhnya Pengamatan Mortalitas *Chlorella Vulgaris* Per 24 Jam Sekali

Consen trasi (%)	$\Sigma C. vulgaris_0$ (sel/ml)	HASIL PENGAMATAN HARIAN											
		24 JAM			48 JAM			72 JAM			96 JAM		
		$\Sigma C. Vulgaris$ (sel/ml)	Morta Litas (sel/ml)	% Morta litas	$\Sigma C. Vulgaris$ (sel/ml)	Morta Litas (sel/ml)	% Morta Litas	$\Sigma C. Vulgaris$ (sel/ml)	Morta Litas (sel/ml)	% Morta Litas	$\Sigma C. Vulgaris$ (sel/ml)	Morta litas (sel/ml)	% Morta litas
0 (A)	$1.275 \times 10^6$	$1.85 \times 10^6$	0	0	$1.95 \times 10^6$	0	0	$2.125 \times 10^6$	0	0	$1.975 \times 10^6$	0	0
0 (B)	$1.275 \times 10^6$	$1.80 \times 10^6$	0	0	$2.075 \times 10^6$	0	0	$2.25 \times 10^6$	0	0	$1.85 \times 10^6$	0	0
0(C)	$1.275 \times 10^6$	$1.80 \times 10^6$	0	0	$1.975 \times 10^6$	0	0	$2.35 \times 10^6$	0	0	$1.65 \times 10^6$	0	0
1.215 (A)	$1.275 \times 10^6$	$1.15 \times 10^6$	$1.25 \times 10^5$	9.80	$9.25 \times 10^5$	$3.5 \times 10^5$	27.45	$7.5 \times 10^5$	$5.25 \times 10^5$	41.18	$6.5 \times 10^5$	$6.25 \times 10^5$	49.02
1.215 (B)	$1.275 \times 10^6$	$1.225 \times 10^6$	$5 \times 10^4$	3.92	$1.10 \times 10^6$	$1.75 \times 10^5$	13.73	$9.0 \times 10^5$	$3.75 \times 10^5$	29.41	$7.5 \times 10^5$	$5.25 \times 10^5$	41.18
1.215 (C)	$1.275 \times 10^6$	$1.00 \times 10^6$	$2.75 \times 10^5$	21.57	$8.75 \times 10^5$	$4.0 \times 10^5$	31.37	$7.5 \times 10^5$	$5.25 \times 10^5$	41.18	$6.25 \times 10^5$	$6.5 \times 10^5$	50.98
2.16 (A)	$1.275 \times 10^6$	$9.5 \times 10^5$	$3.25 \times 10^5$	25.49	$8.5 \times 10^5$	$4.25 \times 10^5$	33.33	$6.25 \times 10^5$	$6.5 \times 10^5$	50.98	$4.51 \times 10^5$	$8.24 \times 10^5$	64.63
2.16 (B)	$1.275 \times 10^6$	$9.0 \times 10^5$	$2.25 \times 10^5$	17.65	$7.25 \times 10^5$	$5.5 \times 10^5$	43.14	$6.75 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$	47.06	$5.0 \times 10^5$	$7.75 \times 10^5$	60.78
2.16 (C)	$1.275 \times 10^6$	$8.5 \times 10^5$	$3.25 \times 10^5$	25.49	$7.5 \times 10^5$	$5.25 \times 10^5$	41.18	$6.5 \times 10^5$	$6.25 \times 10^5$	49.02	$4.5 \times 10^5$	$8.25 \times 10^5$	64.71
3.78 (A)	$1.275 \times 10^6$	$9.0 \times 10^5$	$3.75 \times 10^5$	29.41	$6.5 \times 10^5$	$6.25 \times 10^5$	49.02	$2.75 \times 10^5$	$1.0 \times 10^6$	78.43	$2.5 \times 10^5$	$1.025 \times 10^6$	80.39
3.78 (B)	$1.275 \times 10^6$	$8.75 \times 10^6$	$4.0 \times 10^5$	31.37	$7.0 \times 10^5$	$5.75 \times 10^5$	45.10	$3.5 \times 10^5$	$9.25 \times 10^5$	72.55	$1.75 \times 10^5$	$1.1 \times 10^6$	86.27
3.78 (C)	$1.275 \times 10^6$	$7.75 \times 10^5$	$5.0 \times 10^5$	39.22	$5.75 \times 10^5$	$7.0 \times 10^5$	54.90	$2.75 \times 10^5$	$1.0 \times 10^6$	78.43	$7.5 \times 10^4$	$1.2 \times 10^6$	94.12
6.75 (A)	$1.275 \times 10^6$	$7.5 \times 10^5$	$5.25 \times 10^5$	41.18	$6.0 \times 10^5$	$6.75 \times 10^5$	52.94	$2.5 \times 10^5$	$1.025 \times 10^6$	80.39	$1.0 \times 10^5$	$1.175 \times 10^6$	92.16
6.75 (B)	$1.275 \times 10^6$	$6.0 \times 10^5$	$6.75 \times 10^5$	52.94	$2.5 \times 10^5$	$1.025 \times 10^6$	80.39	$1.25 \times 10^5$	$1.15 \times 10^6$	90.20	$7.5 \times 10^4$	$1.2 \times 10^6$	94.12
6.75 (C)	$1.275 \times 10^6$	$4.75 \times 10^5$	$8.0 \times 10^5$	62.75	$2.25 \times 10^5$	$1.05 \times 10^6$	82.35	$1.5 \times 10^5$	$1.125 \times 10^6$	88.24	$2.5 \times 10^4$	$1.25 \times 10^6$	98.04

Lanjutan

Tabel Hasil Uji Sesungguhnya Mortalitas Rata-rata *Chlorella Vulgaris* Per 24 Jam Sekali

Consen trasi (%)	$\Sigma C.$ <i>vulgaris</i> <sub>0</sub> (sel/ml)	HASIL PENGAMATAN HARIAN											
		24 JAM			48 JAM			72 JAM			96 JAM		
		$\Sigma C.$ <i>Vulgaris</i> (sel/ml)	Morta Litas (sel/ml)	% Morta litas	$\Sigma C.$ <i>Vulgaris</i> (sel/ml)	Morta litas (sel/ml)	% Morta Litas	$\Sigma C.$ <i>Vulgaris</i> (sel/ml)	Morta Litas (sel/ml)	% Morta Litas	$\Sigma C.$ <i>Vulgaris</i> (sel/ml)	Morta Litas (sel/ml)	% Morta Litas
0	$1.275 \times 10^6$	$1.82 \times 10^6$	0	0	$2.00 \times 10^6$	0	0	$2.242 \times 10^6$	0	0	$1.825 \times 10^6$	0	0
1.215	$1.275 \times 10^6$	$1.125 \times 10^6$	$1.5 \times 10^5$	11.76	$9.67 \times 10^5$	$3.08 \times 10^5$	24.16	$8.0 \times 10^5$	$4.75 \times 10^5$	37.25	$6.75 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$	47.06
2.16	$1.275 \times 10^6$	$9.0 \times 10^5$	$3.75 \times 10^5$	29.41	$7.75 \times 10^5$	$5.0 \times 10^5$	39.22	$6.5 \times 10^5$	$6.25 \times 10^5$	49.02	$4.67 \times 10^5$	$8.08 \times 10^5$	63.37
3.78	$1.275 \times 10^6$	$8.5 \times 10^5$	$4.25 \times 10^5$	33.33	$6.417 \times 10^5$	$6.33 \times 10^5$	49.67	$3.00 \times 10^5$	$9.75 \times 10^5$	76.47	$1.67 \times 10^5$	$1.108 \times 10^6$	86.90
6.75	$1.275 \times 10^6$	$6.083 \times 10^5$	$6.667 \times 10^5$	52.29	$3.583 \times 10^5$	$9.167 \times 10^6$	71.90	$1.75 \times 10^5$	$1.1 \times 10^6$	86.27	$6.67 \times 10^4$	$1.2083 \times 10^6$	94.77

## Lampiran 5. Hasil Uji Limbah Cair Rumah Sakit



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
 FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA

Jl. Veteran - Malang 65145, Telp. (0341) 575838, 551611 - 551615, Pes.311, Fx (0341) 575839  
 Email : kimia\_UB@ub.ac.id, Website : http://kimia.ub.ac.id

### LAPORAN HASIL ANALISA

NO : A.160/RT.5/T.1/R.0/TT.150803/2016

#### 1 Data Konsumen

Nama Konsumen : Lailatus Silfiyah  
 Instansi : Universitas Brawijaya  
 Alamat : Jalan Sumbersari No. 287, kecamatan Lowokwaru, Malang  
 Telepon : 081230455619  
 Status : Mahasiswa  
 Keperluan analisis : Uji kualitas

#### 2 Sampling Dilakukan

: Oleh Konsumen

#### 3 Identifikasi Sampel

Nama Sampel : Limbah Cair Rumah Sakit  
 Wujud : Cair  
 Warna : Bening kekuningan (keruh)  
 Bentuk : Cairan

#### 4 Prosedur Analisa

: Dari lab. Lingkungan Jurusan Kimia FMIPA-  
 Unibraw Malang

#### 5 Penyampaian Laporan Hasil Analisis

: Dikirim Lewat Jasa Pengiriman

#### 6 Tanggal terima Sampel

: 28 Maret 2016

#### 7 Data Hasil Analisa

Parameter	No	Kode	Hasil Analisa		Metode Analisa	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
suhu	1	-	27	°C	-	Thermometer
pH	2	-	7.85	-	-	pH - meter
NH <sub>3</sub> bebas	3	-	10.79	ppm	Nessler	Spektrofotometer
PO <sub>4</sub>	4	-	4.62	ppm	Ammonium molybdat	Spektrofotometer
Nitrat	5	-	8.90	ppm	Penol sulfat	Spektrofotometer
Fenol	6	-	5.43	ppm	Asam sulfanilat	Spektrofotometer
TSS	7	-	67	ppm	-	Grafimetri
TDS	8	-	23	ppm	-	Grafimetri
Minyak/Lemak	9	-	65	ppm	Petroliumeter	Soklet
COD	10	-	676	ppm	Indikator ferroin	Redoks
BOD	11	-	358	ppm	Indikator amilum	Iodometri
Fe	12	-	8.73	ppm	Aquaregia	AAS
Pb	13	-	2.58	ppm	Aquaregia	AAS
Cd	14	-	1.30	ppm	Aquaregia	AAS
Cu	15	-	3.26	ppm	Aquaregia	AAS
Cr	16	-	0.90	ppm	Difenilcarbaid	AAS

#### Catatan

- Hasil analisa ini adalah nilai rata-rata pengerjaan analisis secara duplo
- Hasil analisa ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel saat ini.



Mengetahui :  
 Ketua,

*[Signature]*  
 DR. Edi Priyo Utomo, M.S.  
 NIP. 195712271986031003

Malang, 07 April 2016

Kalah UPT. Layanan Analisa & Pengukuran

*[Signature]*  
 Dra. Sriwardhani, M.S.  
 NIP 196802261992032001

Lanjutan



PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR  
RUMAH SAKIT UMUM DAERAH Dr. SAIFUL ANWAR  
INSTALASI PENYEHATAN LINGKUNGAN  
TERAKREDITASI KARS VERSI 2012 TINGKAT PARIPURNA



24 Februari 2015 s.d 23 Februari 2018

Jl. Jaksa Agung Suprpto No. 2 Malang 65111 Telp. (0341) 362101, Fax. (0341) 369384  
E-Mail : staf-rsu-drsaifulanwar@jatimprov.go.id  
Website : www.rsusaifulanwar.jatimprov.go.id

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

A. UMUM

**ASLI**

Jenis Uji : Air Limbah  
Berasal dari / lokasi : Inlet  
IPAL RSUD Dr.Saiful Anwar Malang  
Jl. Jaksa Agung Suprpto 2 Malang  
Petugas Pengukur/Penguji : Sdri. Lailatus Silfiyah  
Diambil tanggal : 12 April 2016 Jam : 08.00 WIB.  
Diterima tanggal : 12 April 2016 Jam : 08.00 WIB.  
No./ Kode Lab. :

B. HASIL UJI

Parameter	Satuan	Metode	Batas Maksimum (*)	Hasil Uji
Koliform Total (Total Coliform)	JPT/100 ml	Multiple Tube	#	$\geq 2.400 \times 10^2$

Keterangan :

(\*) : Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013  
(#) : Parameter Tidak Dipersyaratkan.

Malang, 27 APR 2016

An.Direktur RSUD Dr. Saiful Anwar Malang  
Kepala Instalasi Penyehatan Lingkungan



*Siti Umlernawati*  
SITI UMLERNAWATI, SKM., MM.  
NIP. 19760110 200003 2 003



Lanjutan. Hasil Uji Laboratorium dan Baku Mutu Limbah Cair Rumah Sakit

Tabel Baku Mutu Limbah Cair Rumah Sakit Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 serta Hasil Uji Laboratorium

<b>BAKU MUTU LIMBAH CAIR UNTUK KEGIATAN RUMAH SAKIT</b>				
<b>Volume Limbah Cair Maksimum 500 L/(Orang.Hari)</b>				
<b>No</b>	<b>Parameter</b>	<b>Satuan</b>	<b>Kadar Maksimum yang Diperbolehkan (*)</b>	<b>Hasil Uji Laboratorium (**)</b>
<b>I</b>	<b>Fisika</b>			
1	Total Suspended Solid (TSS)	mg/l	30	67
2	Temperatur	°C	30	27
<b>II</b>	<b>Kimia</b>			
1	pH	-	6-9	7,85
2	BOD <sub>5</sub>	mg/l	30	358
3	COD	mg/l	80	676
4	NH <sub>3</sub> -N Bebas	mg/l	0,1	10,79
5	Phospat Terlarut (PO <sub>4</sub> )	mg/l	2	4,62
6	Minyak dan Lemak	mg/l	10	65
<b>III</b>	<b>Biologi</b>			
1	MPN-Kuman Coliform/100 ml	MPN/100ml	10.000	≥ 240.000

(\*) Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013

(\*\*) Hasil Uji Laboratorium

Lanjutan

Tabel Baku Mutu Limbah Cair Rumah Sakit dengan kandungan Bahan Berbahaya dan Beracun Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 serta Hasil Uji Laboratorium

<b>BAKU MUTU LIMBAH CAIR UNTUK KEGIATAN RUMAH SAKIT</b>				
<b>(Bahan Berbahaya dan Beracun)</b>				
No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan (*)	Hasil Uji Laboratorium (**)
<b>Kimia</b>				
1	pH	-	6-9	7,85
2	Besi terlarut (Fe)	mg/l	5	8,73
3	Tembaga (Cu)	mg/l	2	3,26
4	Krom total (Cr)	mg/l	0,5	0,90
5	Kadmium (Cd)	mg/l	0,05	1,30
6	Timbal (Pb)	mg/l	0,1	2,58
7	Amoniak Bebas (NH <sub>3</sub> -N)	mg/l	1	10,79
8	Nitrat	mg/l	20	8,90
9	Fenol	mg/l	0,5	5,43

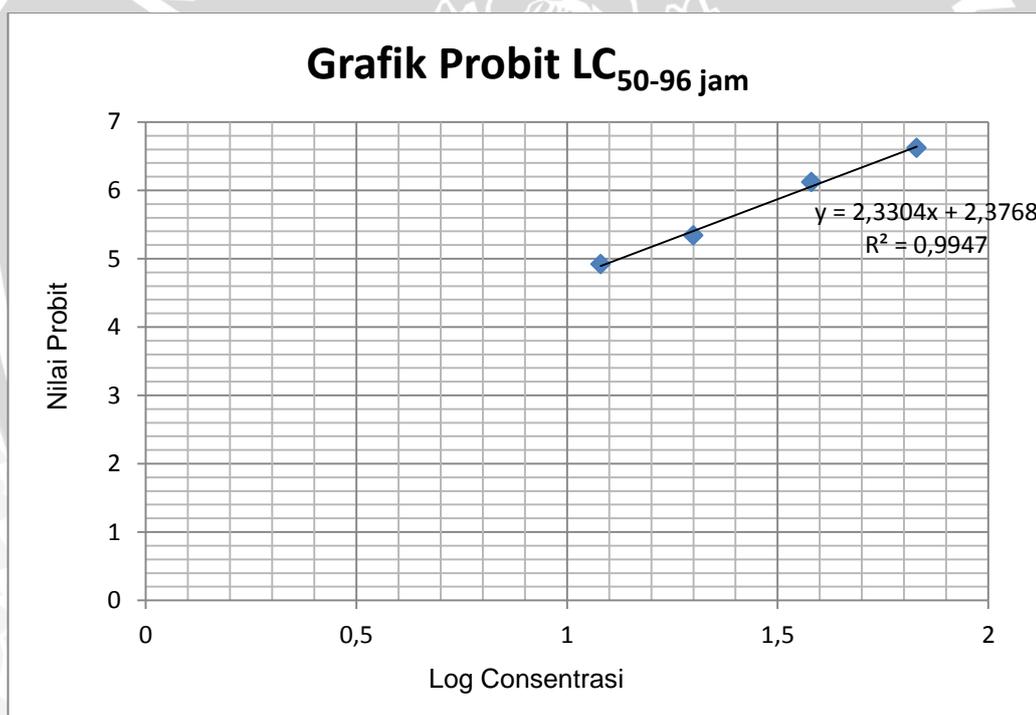
(\*) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014

(\*\*) Hasil Uji Laboratorium

## Lampiran 6. Analisis Probit

Tabel analisis probit *Chlorella vulgaris* yang dipapar oleh limbah cair rumah sakit selama 96 jam

NO	Conc. (ml/l)	Log 10 Conc.(x)	Total No ( $10^4$ sel/ml)	No Dead ( $10^4$ sel/ml)	Mortality	Corected (%mortal)	Probit (y)
1	0	0	127,5	0	0	0	0
2	12,15	1,08	127,5	60	47,06	47,06	4,92
3	21,6	1,3	127,5	80,8	63,37	63,37	5,34
4	37,8	1,58	127,5	110,8	86,9	86,9	6,12
5	67,5	1,83	127,5	120,83	94,77	94,77	6,62



Rumus regresi yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$y = 2,3304x + 2,3768$$

diasumsikan bahwa nilai probit adalah 5, maka :

$$y = 5$$

### Lanjutan

sehingga apabila dihitung diperoleh hasil sebagai berikut :

$$y = 2,3304x + 2,3768$$

$$5 = 2,3304x + 2,3768$$

$$5 - 2,3768 = 2,3304x$$

$$2,6232 = 2,3304x$$

$$x = \frac{2,6232}{2,3304}$$

$$x = 1,1256436663$$

$$LC_{50-96Jam} = \text{antilog } x$$

$$= \text{antilog } 1,1256436663$$

$$= 13,354993048 \text{ ml/l}$$

$$= 13,35 \text{ ml/l.}$$

Hal ini menunjukkan bahwa kepadatan *Chlorella vulgaris* akan menurun atau mengalami mortalitas sebesar 50%, setelah dipapar oleh limbah cair rumah sakit selama 96 jam pada konsentrasi 13,35 ml/l.

Lampiran 7. Tabel Transformasi Probit (Finney, 1992)

Tabel 28. Transformasi Persen-Probit

%	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	-	1,0098	2,1218	2,2522	2,3479	2,4242	2,4879	2,5427	2,5914	2,6344
1	2,6737	2,7096	2,7429	2,7738	2,8027	2,8299	2,8556	2,8799	2,3031	2,9251
2	2,9463	2,9665	2,9859	3,0646	3,0226	3,0400	3,0569	3,0732	3,0896	3,1043
3	3,1192	3,1337	3,1478	3,1616	3,1750	3,1881	3,2009	3,2134	3,2256	3,2376
4	3,2493	3,2608	3,2721	3,2831	3,2940	3,3046	3,3151	3,3253	3,3354	3,3454
5	3,3351	3,3668	3,3742	3,3836	3,3028	3,4018	3,4107	3,4195	3,4282	3,4368
6	3,4452	3,4536	3,4618	3,4694	3,4780	3,4850	3,4937	3,5015	3,5091	3,5167
7	3,5242	3,5316	3,5380	3,5462	3,5534	3,5605	3,5675	3,5745	3,5813	3,5882
8	3,5949	3,6016	3,6083	3,6148	3,6213	3,6278	3,6342	3,6405	3,6408	3,6427
9	3,6692	3,6654	3,6715	3,6775	3,6835	3,6894	3,6953	3,7012	3,7070	3,7127
10	3,7184	3,7241	3,7298	3,7354	3,7409	3,7464	3,7519	3,7574	3,7628	3,7681
11	3,7735	3,7784	3,7840	3,7893	3,7945	3,7996	3,8048	3,8099	3,8150	3,8200
12	3,8250	3,8300	3,8350	3,8399	3,8448	3,8497	3,8545	3,8593	3,8641	3,8689
13	3,8736	3,8783	3,8830	3,8877	3,8923	3,8969	3,9015	3,9061	3,9107	3,9152
14	3,9197	3,9242	3,9286	3,9331	3,9375	3,9419	3,9463	3,9506	3,9550	3,9593
15	3,9636	3,9678	3,9721	3,9763	3,9800	3,9848	3,9890	3,9931	3,9973	4,0014
16	4,0055	4,0096	4,0137	4,0178	4,0218	4,0259	4,0299	4,0339	4,0379	4,0410
17	4,0458	4,0408	4,0537	4,0576	4,0615	4,0693	4,0693	4,0731	4,0770	4,0808
18	4,0846	4,0884	4,0960	4,0960	4,0998	4,1035	4,1073	4,1110	4,1147	4,1184
19	4,1221	4,1258	4,1331	4,1331	4,1367	4,1404	4,1440	4,1476	4,1512	4,1548
20	4,1684	4,1019	4,1035	4,1690	4,1726	4,1761	4,1796	4,1831	4,1866	4,1901
21	4,1936	4,1970	4,2005	4,2039	4,2074	4,2108	4,2142	4,2176	4,2210	4,2244
22	4,2278	4,2312	4,2345	4,2379	4,2412	4,2446	4,2479	4,2512	4,2546	4,2579
23	4,2612	4,2644	4,2677	4,2710	4,2743	4,2775	4,2808	4,2840	4,2872	4,2905
24	4,2937	4,2969	4,3001	4,3033	4,3065	4,3097	4,3129	4,3160	4,3192	4,3224
25	4,3255	4,3287	4,3318	4,3349	4,3380	4,3412	4,3443	4,3474	4,3505	4,3536
26	4,3567	4,3597	4,3628	4,3659	4,3689	4,3720	4,3750	4,3781	4,3811	4,3842
27	4,3872	4,3902	4,3932	4,3962	4,3992	4,4022	4,4052	4,4082	4,4112	4,4142
28	4,4172	4,4201	4,4231	4,4260	4,4290	4,4319	4,4349	4,4378	4,4408	4,4437
29	4,4466	4,4405	4,4524	4,4554	4,4583	4,4612	4,4641	4,4670	4,4698	4,4727
30	4,4756	4,4785	4,4813	4,4842	4,4871	4,4899	4,4928	4,4956	4,4985	4,5013
31	4,5041	4,5070	4,5098	4,5126	4,5155	4,5183	4,5211	4,5239	4,5267	4,5295
32	4,5323	4,5351	4,5370	4,5407	4,5435	4,5462	4,5490	4,5518	4,5546	4,5573
33	4,5601	4,5628	4,5656	4,5684	4,5711	4,5739	4,5766	4,5793	4,5821	4,5848
34	4,5875	4,5903	4,5930	4,5957	4,5984	4,6011	4,6039	4,6066	4,6093	4,6120
35	4,6147	4,6174	4,6201	4,6228	4,6255	4,6281	4,6308	4,6335	4,6362	4,6389
36	4,6415	4,6442	4,6469	4,6495	4,6522	4,6549	4,6575	4,6602	4,6628	4,6655
37	4,6681	4,6708	4,6734	4,6761	4,6787	4,6814	4,6840	4,6866	4,6893	4,6919
38	4,6945	4,6971	4,6998	4,7024	4,7050	4,7078	4,7102	4,7129	4,7155	4,7181
39	4,7207	4,7233	4,7259	4,7285	4,7311	4,7337	4,7363	4,7389	4,7415	4,7441
40	4,7467	4,7402	4,7518	4,7544	4,7570	4,7595	4,7622	4,7647	4,7673	4,7699
41	4,7725	4,7750	4,7776	4,7802	4,7827	4,7853	4,7879	4,7904	4,7930	4,7955
42	4,7981	4,8007	4,8032	4,8058	4,8083	4,8109	4,8134	4,8160	4,8185	4,8211
43	4,8230	4,8202	4,8287	4,8313	4,8338	4,8363	4,8389	4,8414	4,8440	4,8465
44	4,8490	4,8516	4,8541	4,8566	4,8592	4,8617	4,8642	4,8668	4,8693	4,8718
45	4,8743	4,8769	4,8704	4,8819	4,8844	4,8870	4,8895	4,8920	4,8945	4,8970
46	4,8996	4,9021	4,9046	4,9071	4,9096	4,9122	4,9147	4,9172	4,9197	4,9222
47	4,9247	4,9272	4,9298	4,9323	4,9348	4,9373	4,9398	4,9423	4,9448	4,9473
48	4,9408	4,9524	4,9549	4,9574	4,9599	4,9624	4,9649	4,9674	4,9699	4,9724
49	4,9740	4,9774	4,9799	4,9825	4,9850	4,9876	4,9900	4,9925	4,9950	4,9975

Lanjutan

50	5,0000	5,0025	5,0050	5,0075	5,0100	5,0125	5,0150	5,0175	5,0201	5,0226
51	5,0251	5,0276	5,0301	5,0326	5,0351	5,0376	5,0401	5,0426	5,0451	5,0476
52	5,0502	5,0527	5,0552	5,0577	5,0602	5,0627	5,0652	5,0677	5,0702	5,0728
53	5,0753	5,0778	5,0803	5,0828	5,0853	5,0878	5,0904	5,0929	5,0954	5,0279
54	5,1004	5,1030	5,1055	5,1080	5,1105	5,1130	5,1156	5,1181	5,1206	5,1231
55	5,1257	5,1282	5,1307	5,1332	5,1358	5,1383	5,1408	5,1434	5,1459	5,1484
56	5,1510	5,1535	5,1560	5,1586	5,1614	5,1637	5,1662	5,1687	5,1713	5,1738
57	5,1764	5,1789	5,1815	5,1840	5,1866	5,1801	5,1917	5,1942	5,1968	5,1993
58	5,2019	5,2045	5,2070	5,2096	5,2121	5,2147	5,2173	5,2198	5,2224	5,2250
59	5,2275	5,2301	5,2327	5,2353	5,2378	5,2404	5,2430	5,2468	5,2482	5,2508
60	5,2533	5,2359	5,2585	5,2611	5,2637	5,2663	5,2689	5,2715	5,2741	5,2767
61	5,2793	5,2819	5,2845	5,2871	5,2808	5,2024	5,2050	5,2976	5,3002	5,3029
62	5,3055	5,3081	5,3107	5,3134	5,3160	5,3186	5,3213	5,3239	5,3266	5,3202
63	5,3319	5,3345	5,3372	5,3398	5,3425	5,3451	5,3478	5,3505	5,3531	5,3658
64	5,3585	5,3811	5,3638	5,3665	5,3692	5,3719	5,3745	5,3772	5,3799	5,3826
65	5,3853	5,33805	5,8007	5,3934	5,3961	5,3980	5,4016	4,4043	5,4070	5,4097
66	5,4125	4152	5,4170	5,4207	5,4234	5,4261	5,4289	5,4316	5,4344	5,4372
67	5,4399	5,4427	5,4454	5,4482	5,4510	5,4538	5,4565	5,4593	5,4621	5,4649
68	5,4677	5,4705	5,4733	5,4761	5,4780	5,4817	5,4845	5,4874	5,4902	5,4930
69	5,4959	5,4987	5,5015	5,5044	5,5072	5,5101	5,5129	5,5158	5,5187	5,5215
70	5,5244	5,5273	5,5302	5,5330	5,5350	5,5388	5,5417	5,5446	5,5476	5,6505
71	5,5534	5,5563	5,5592	5,5622	5,5651	5,5681	5,5710	5,5740	5,5760	5,5799
72	5,5828	5,5858	5,5888	5,5918	5,5948	5,5978	5,6008	5,6038	5,6068	5,6098
73	5,6128	5,6158	5,6189	5,6219	5,6250	5,6280	5,6311	5,6341	5,6372	5,6403
74	5,6435	5,6464	5,6405	5,6526	5,6557	5,6588	5,6620	5,6651	5,6682	5,6713
75	5,6745	5,6776	5,6808	5,6840	5,6871	5,6903	5,6935	5,6967	5,6998	5,7031
76	5,7083	5,7095	5,7128	5,7160	5,7192	5,7225	5,7257	5,7200	5,7323	5,7356
77	5,7388	5,7424	5,7454	5,7488	5,7521	5,7554	5,7588	5,7621	5,7666	5,7688
78	5,7722	5,7756	5,7796	5,7824	5,7858	5,7892	5,7926	5,7961	5,7995	5,8030
79	5,8834	5,8099	5,8134	5,8169	5,8204	5,8239	5,8274	5,8310	5,8345	5,8381
80	5,8416	5,8452	5,8488	5,8524	5,8560	5,8596	5,8633	5,8669	5,8705	5,8742
81	5,8779	5,8816	5,8853	5,8890	5,8927	5,8965	5,9002	5,9040	5,9078	5,9116
82	5,9154	5,9192	5,9230	5,9269	5,9307	5,9346	5,9386	5,9424	5,9463	5,9502
83	5,9542	5,9581	5,9624	5,9661	5,9701	5,9741	5,9782	5,9822	5,9863	5,9904
84	5,9945	5,9986	6,0027	6,0069	6,0110	6,0152	6,0194	6,0237	6,0279	6,0322
85	6,0364	6,0407	6,0450	6,0494	6,0537	6,0581	6,0625	6,0669	6,0714	6,0758
86	6,0803	6,0818	6,0893	6,0939	6,0985	6,1031	6,1077	6,1123	6,1170	6,1217
87	6,1264	6,1311	6,1359	6,1407	6,1455	6,1503	6,1552	6,1601	6,1650	6,1700
88	6,1750	6,1800	6,1856	6,1901	6,1952	6,2004	6,2055	6,2107	6,2160	6,2212
89	6,2205	6,2319	6,2372	6,2426	6,2481	6,2536	6,2591	6,2646	6,2702	6,2750
90	6,2816	6,2873	6,2936	6,2988	6,3047	6,3106	6,3165	6,3225	6,3285	6,3346
91	6,3408	6,3469	6,3532	6,3595	6,3658	6,3722	6,3787	6,3852	6,3917	6,3984
92	6,4031	6,4118	6,4187	6,4255	6,4325	6,4395	6,4466	6,4538	6,4611	6,4684
93	6,4758	6,4833	6,4909	6,4985	6,5063	6,5141	6,5220	6,5301	6,5382	6,5464
94	6,8548	6,5632	6,5718	6,5805	6,5893	6,5982	6,6078	6,6164	6,6258	6,6352
95	6,6449	6,6546	6,6646	6,6747	6,6849	6,6954	6,7060	6,7169	6,7279	6,7302
96	97	100	101	102	105	106	109	110	113	116
96	6,7507	6,7624	6,7784	6,7806	6,7991	6,8119	6,8260	6,8084	6,8522	6,8663
97	117	120	122	125	128	131	134	138	141	145
97	6,8808	6,8957	6,9110	6,9268	6,9431	6,9600	6,9774	6,9954	7,0141	7,0335
97	140	153	158	103	169	174	180	187	194	202
98.0	7,0537	7,0558	7,0579	7,0660	7,0621	7,0612	7,0663	7,0684	7,0706	7,0727
98.1	7,0749	7,0770	7,0792	7,0814	7,0836	7,0858	7,0880	7,0902	7,0924	7,0947
98.2	7,0969	7,0992	7,1015	7,1038	7,1061	7,1084	7,1107	7,1130	7,1154	7,1177
98.3	7,1204	7,1224	7,1248	7,1272	7,1297	7,1321	7,1345	7,1370	7,1384	7,1419
98.4	7,1444	7,1469	7,1494	7,1520	7,1545	7,1571	7,1596	7,1622	7,1648	7,1675
98.5	7,1701	7,1727	7,1754	7,1781	7,1808	7,1835	7,1862	7,1890	7,1917	7,1945
98.6	7,1973	7,2001	7,2029	7,2058	7,2086	7,2115	7,2144	7,2173	7,2203	7,2232
98.7	7,2262	7,2292	7,2322	7,2353	7,2383	7,2414	7,2445	7,2476	7,2508	7,2539
98.8	7,2374	7,2663	7,2636	7,2668	7,2701	7,2734	7,2768	7,2801	7,2835	7,2869
98.9	7,2904	7,2938	7,2973	7,3009	7,3044	7,3080	7,3116	7,3152	7,3189	7,3226

Lanjutan

99.0	7,3263	7,3301	7,3339	7,3378	7,3416	7,3455	7,3495	7,3535	7,3575	7,3615
99.1	7,3656	7,3698	7,3739	7,3781	7,3824	7,3867	7,3911	7,3954	7,3999	7,4044
99.2	7,4059	7,4135	7,4181	7,4228	7,4276	7,4324	7,4372	7,4422	7,4474	7,4522
99.3	7,4373	7,4624	7,4677	7,4730	7,4783	7,4838	7,4893	7,4940	7,5006	7,5063
99.4	7,5121	7,5181	7,5241	7,5302	7,5364	7,5427	7,5401	7,5550	7,5622	7,5690
99.5	7,5758	7,5828	7,5890	7,5972	7,6045	7,6121	7,6107	7,6276	7,6356	7,6437
99.6	7,6521	7,6606	7,6693	7,6783	7,6874	7,6968	7,7065	7,7104	7,7266	7,7370
99.7	7,7478	7,7589	7,7703	7,7822	7,7944	7,8070	7,8202	7,8338	7,8480	7,8027
99.8	7,8782	7,8943	7,9112	7,9299	7,9478	7,9677	7,9889	8,0115	8,0357	8,0618
99.9	8,0902	8,1214	8,1550	8,1847	8,2380	8,2905	8,3528	8,4316	8,5401	8,7190



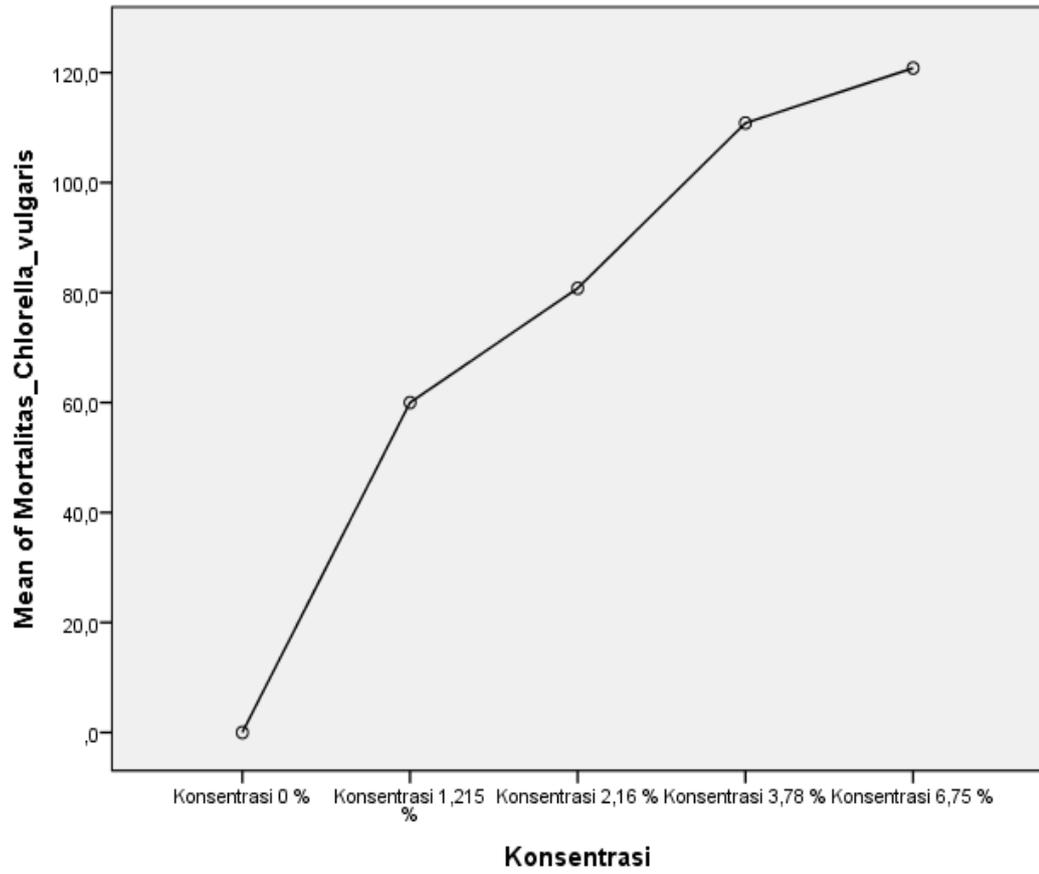
Lampiran 8. Data Hasil Analisis Statistik ANOVA

Descriptives								
Mortalitas_ <i>Chlorella vulgaris</i>								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Konsentrasi 0 %	3	,000	,0000	,0000	,000	,000	,0	,0
Konsentrasi 1,215 %	3	60,000	6,6144	3,8188	43,569	76,431	52,5	65,0
Konsentrasi 2,16 %	3	80,800	2,8583	1,6503	73,700	87,900	77,5	82,5
Konsentrasi 3,78 %	3	110,833	8,7797	5,0690	89,023	132,643	102,5	120,0
Konsentrasi 6,75 %	3	120,833	3,8188	2,2048	111,347	130,320	117,5	125,0
Total	15	74,493	44,7919	11,5652	49,688	99,298	,0	125,0

ANOVA					
Mortalitas_ <i>Chlorella vulgaris</i>					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	27801,236	4	6950,309	242,025	,000
Within Groups	287,173	10	28,717		
Total	28088,409	14			

Lanjutan

**Means Plots**



**Lampiran 9. Data Hasil Pengukuran Kualitas Air****Data Hasil pengamatan Intensitas Cahaya**

HARI KE-	INTENSITAS CAHAYA (lux)
1	5875
2	5865
3	5855
4	5835



## Lanjutan

## Data Hasil Pengukuran Suhu (°C)

KONSEN TRASI (%)	JAM KE-												
	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96
0 (A)	28.1	29.5	29.1	29.6	29.9	29.8	29.5	29.8	30.0	30.6	30.0	30.2	30.2
0 (B)	28.3	29.6	29.8	29.9	29.3	30.2	30.2	30.7	30.9	30.1	30.3	30.1	29.2
0 (C)	28.4	29.7	30	29.9	30.4	30.3	30.2	30.7	30.9	29.0	29.1	30.5	29.8
1.215 (A)	28.4	29.1	29.7	29.7	30.2	30.0	30.4	30.5	29.7	28.4	30.5	30.1	30.4
1.215 (B)	28.1	29.9	30.8	30.6	30.0	30.9	29.8	30.8	30.3	30.8	30.1	29.8	30.9
1.215 (C)	28.5	29.5	30.1	29.8	30.3	29.3	30.4	30.9	30.7	30.0	29.6	29.7	30.9
2.16 (A)	28.3	29.3	29.5	28.9	30.3	30.0	30.3	30.5	30.3	30.2	30.5	30.7	29.3
2.16 (B)	28.5	29.7	30.2	30.7	30.2	30.4	30.5	30.5	30.5	31.2	30.7	29.7	30.5
2.16 (C)	28.3	29.1	29.6	29.7	30.4	30.2	29.9	30.5	30.4	29.5	29.6	30.6	30.6
3.78 (A)	28.2	29.5	29.4	29.7	30.1	30.3	30.0	30.7	30.5	30.6	30.9	29.7	30.8
3.78 (B)	28.4	29.4	30	30.2	30.4	30.7	30.4	30.9	30.7	30.5	30.2	29.8	30.5
3.78 (C)	28.1	29.6	30.2	30.2	30.9	30.5	30.8	30.7	29.3	28.4	30.9	30.9	30.9
6.75 (A)	28.3	29.7	30.2	30.5	30.9	30.8	30.9	30.2	30.1	30.5	30.1	29.5	30.2
6.75 (B)	28.2	29.7	30.3	30.3	30.8	30.6	30.6	31.0	29.7	30.7	30.2	29.4	30.0
6.75 (C)	28.7	29.0	29.3	29.6	30.1	30.0	29.9	30.4	30.4	29.6	30.4	30.0	30.6

## Lanjutan

## Data Hasil Pengukuran pH

KONSENTRASI (%)	JAM KE-												
	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96
0 (A)	7.14	7.24	7.50	7.15	7.15	7.23	7.34	7.34	7.38	7.40	7.43	7.45	7.47
0 (B)	7.16	7.31	7.21	7.16	7.04	7.15	7.25	7.18	7.20	7.23	7.29	7.30	7.31
0 (C)	7.14	7.43	7.01	7.19	7.10	7.24	7.19	7.03	7.15	7.18	7.20	7.25	7.35
1.215 (A)	7.25	7.50	7.57	7.45	7.67	7.54	7.57	7.55	7.57	7.60	7.68	7.70	7.78
1.215 (B)	7.24	7.49	7.51	7.52	7.56	7.37	7.39	7.41	7.55	7.54	7.59	7.67	7.69
1.215 (C)	7.21	7.39	7.44	7.65	7.58	7.34	7.65	7.52	7.54	7.60	7.64	7.65	7.76
2.16 (A)	7.45	7.67	7.86	7.89	7.58	7.89	7.65	7.67	7.69	7.70	7.78	7.82	7.89
2.16 (B)	7.40	7.89	7.86	7.64	7.67	7.65	7.67	7.63	7.64	7.67	7.69	7.75	7.80
2.16 (C)	7.46	7.68	7.82	7.98	7.85	7.76	7.87	7.81	7.65	7.71	7.74	7.82	7.89
3.78 (A)	7.67	7.89	7.89	8.00	8.01	7.98	8.09	7.89	7.90	7.92	7.99	8.04	8.08
3.78 (B)	7.78	7.91	7.82	8.02	7.94	7.89	8.02	7.89	7.90	7.96	8.00	8.09	8.11
3.78 (C)	7.71	7.95	7.91	8.04	7.99	7.91	8.04	7.98	7.99	8.10	8.11	8.15	8.17
6.75 (A)	7.97	7.98	8.05	8.14	8.07	8.01	8.15	7.94	7.95	8.09	8.14	8.16	8.18
6.75 (B)	7.87	8.01	8.07	8.19	7.99	8.11	8.16	8.03	8.07	8.10	8.15	8.17	8.20
6.75 (C)	7.83	8.00	7.95	8.15	7.09	8.09	8.20	8.06	8.03	8.11	8.12	8.20	8.24

## Lanjutan

## Data Hasil Pengukuran DO (Oksigen Terlarut)

KONSENTRASI (%)	JAM KE-												
	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96
0 (A)	4.22	5.09	5.79	5.19	4.86	4.94	5.50	6.00	5.44	5.70	5.28	5.38	5.29
0 (B)	5.23	5.31	6.44	5.19	5.03	4.88	5.07	4.53	4.14	5.80	4.77	4.75	5.81
0 (C)	5.25	5.38	6.11	5.28	5.22	4.87	6.18	4.48	4.16	5.66	4.44	4.82	4.80
1.215 (A)	4.21	4.54	6.22	5.72	5.17	4.94	4.38	4.84	5.04	4.12	5.47	5.51	5.96
1.215 (B)	4.41	4.90	5.92	5.27	5.10	4.31	5.89	5.11	5.45	5.45	5.13	4.51	5.36
1.215 (C)	4.47	5.10	6.02	5.15	5.16	5.06	4.72	5.85	5.44	6.08	4.86	5.12	6.57
2.16 (A)	4.20	4.51	6.23	5.43	5.00	4.64	5.93	5.76	5.61	4.21	5.91	5.99	4.51
2.16 (B)	4.56	5.24	6.15	5.32	4.62	4.15	6.65	5.48	4.92	4.61	5.30	4.17	5.65
2.16 (C)	4.59	5.51	6.39	4.71	4.51	4.76	5.74	4.99	5.49	5.64	4.64	4.85	6.37
3.78 (A)	5.18	4.47	6.45	5.35	5.31	4.62	5.53	5.12	4.43	5.96	5.14	5.15	5.77
3.78 (B)	4.54	5.60	6.01	5.38	5.06	5.94	5.95	4.03	5.36	5.37	5.85	4.01	6.60
3.78 (C)	4.70	5.40	6.16	4.34	4.86	4.70	5.42	6.01	5.29	4.61	4.44	4.97	4.37
6.75 (A)	5.04	5.24	6.11	5.88	4.78	4.74	5.88	5.28	4.86	5.58	5.55	5.05	5.38
6.75 (B)	4.42	5.31	6.00	6.48	5.01	4.78	5.62	5.04	5.50	5.68	5.00	5.43	5.77
6.75 (C)	4.89	5.43	6.06	5.23	5.64	4.75	5.43	5.76	5.04	5.12	4.68	4.45	6.04

**Lanjutan**

**Data Hasil Rata-rata Suhu per 24 Jam**

KONSENTRASI (%)	JAM KE- (°C)			
	24	48	72	96
0	29,8	29,9	29,9	29,7
1,215	30,0	30,2	29,7	30,7
2,16	29,7	30,2	29,9	30,1
3,78	30,0	30,4	29,8	30,7
6,75	30,1	30,4	30,2	30,2

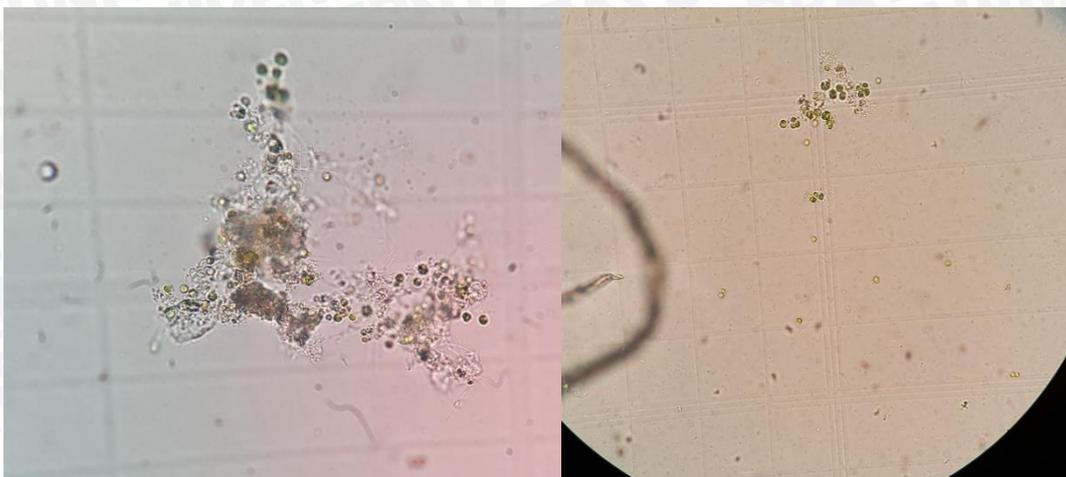
**Data Hasil Rata-rata pH per 24 Jam**

KONSENTRASI (%)	JAM KE-			
	24	48	72	96
0	7,17	7,26	7,27	7,37
1,215	7,54	7,53	7,58	7,74
2,16	7,83	7,73	7,69	7,86
3,78	8,02	8,05	7,99	8,12
6,75	8,16	8,17	8,10	8,20

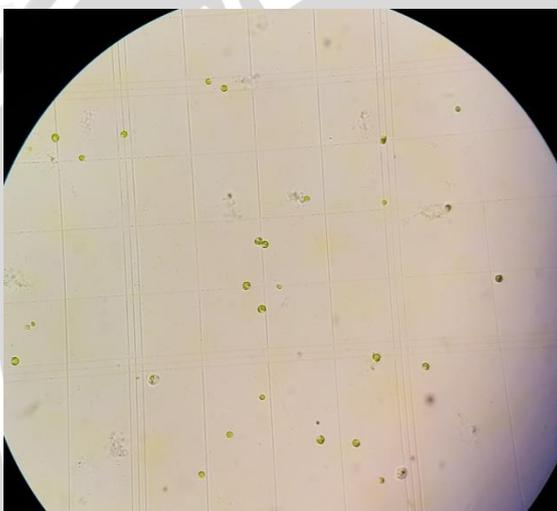
**Data Hasil Rata-rata DO per 24 Jam**

KONSENTRASI (%)	JAM KE- (mg/L)			
	24	48	72	96
0	5,22	5,58	5,72	5,30
1,215	5,38	5,42	5,21	5,96
2,16	5,15	6,10	5,15	5,51
3,78	5,02	5,63	5,31	5,58
6,75	5,86	5,64	5,46	5,73

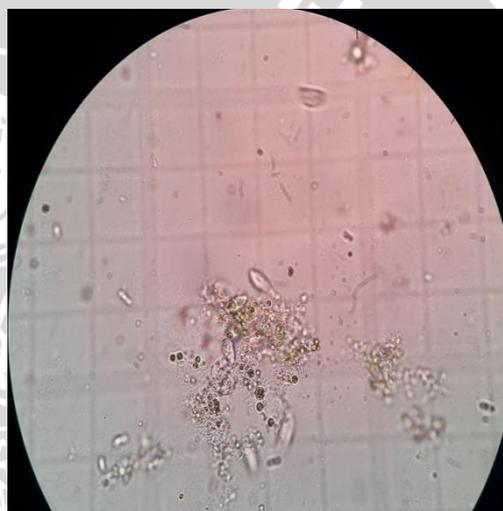
Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian



Sel *Chlorella vulgaris* yang Rusak



Sel *Chlorella vulgaris* yang Rusak



Penampakan Bakteri



Penampakan Bakteri



Pengambilan Sampel Air limbah



Uji Pendahuluan



Uji Sesungguhnya



Pengukuran Intensitas Cahaya



Pengukuran pH



Pengukuran DO



Pengamatan Kepadatan *Chlorella vulgaris*



Sterilisasi alat dan Media



Alat yang Digunakan dalam Penelitian



Stok Bibit dari Kultur



Perbanyak Stok Kultur



Stok Kultur Gagal (Warna Kekuningan)

