

**STUDI RESPON MIKROALGA (*Chaetoceros calcitrans*) SEBAGAI AGEN
BIOREMEDIASI LOGAM BERAT Cd dan Cu**

SKRIPSI

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

Oleh:

MAYANG ANDEKA CARENINA

NIM. 155080607111013



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2019

**STUDI RESPON MIKROALGA (*Chaetoceros calcitrans*) SEBAGAI AGEN
BIOREMEDIASI LOGAM BERAT**

SKRIPSI

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

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

Universitas Brawijaya

Oleh:

MAYANG ANDEKA CARENINA

NIM. 155080607111013



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2019

LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN SKRIPSI

STUDI RESPON MIKROALGA (*Chaetoceros calcitrans*) SEBAGAI AGEN
BIOREMEDIASI LOGAM BERAT Cd dan Cu

Oleh:
MAYANG ANDEKA CARENINA
NIM. 155080607111013

Telah Dipertahankan di Depan Penguji
pada Tanggal 27 Juni 2019
dan Dinyatakan Memenuhi Syarat

Dosen Pembimbing 1,

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 2,



Dr. Ir. Guntur, MS
NIP. 19580605 198601 1 001
Tanggal : 16 JUL 2019



Dwi Candra Pratiwi, S.Pi., M.Sc.
NIP. 19860115 201504 2 001
Tanggal : 16 JUL 2019

Mengetahui,

Ketua Jurusan PSPK,



Dr. Endang Abu Bakar Sambah, S.Pi., M.T.
NIP. 19780717 200502 1 004
Tanggal : 16 JUL 2019

Judul : **STUDI RESPON MIKROALGA *Chaetoceros calcitrans* SEBAGAI
AGEN BIOREMEDIASI LOGAM BERAT Cd dan Cu**

Nama Mahasiswa : Mayang Andeka Carenina

NIM : 155080607111013

Program Studi : Ilmu Kelautan

PENGUJI PEMBIMBING :

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Guntur, MS

Pembimbing 2 : Dwi Candra Pratiwi, S.Pi., M.Sc

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING :

Dosen Penguji 1 : Feni Iranawati, S.Pi., M.Si., Ph.D

Dosen Penguji 2 : Andik Isdianto, ST., MT

Tanggal Ujian : 27 Juni 2019



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini. Meskipun banyak hambatan yang penulis alami dalam proses pengerjaan laporan skripsi ini, namun laporan skripsi ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Laporan skripsi ini berjudul “STUDI RESPON MIKROALGA (*Chaetoceros calcitrans*) SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI LOGAM BERAT Cd dan Cu” yang berisikan tentang bioremediasi logam berat dan melihat respon agen bioremediasi terhadap paparan logam berat sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan penelitian selanjutnya.

Demikian laporan skripsi ini saya buat, semoga kegiatan penelitian beserta rangkaiannya dapat berjalan dengan lancar dan sesuai dengan harapan penulis. Penulis berharap dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi para pembaca. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran untuk kesempurnaan laporan skripsi ini agar bisa menjadi lebih baik. Terima kasih.

Malang, Juli 2019

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Atas terselesaikannya Laporan Skripsi ini, penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kekuatan sampai hari ini sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian beserta laporannya dengan baik dan tepat waktu.
2. Mama Enung dan Papa Agus yang selalu mendoakan, memberi motivasi, dukungan serta kebebasan dalam pembuatan keputusan.
3. Adek Tanita, Embah Kasminten, Bude Rus, Mbak Nana dan Abang Dione serta seluruh keluarga yang selalu mendoakan.
4. Bapak Dr. Ir. Guntur, MS sebagai Dosen Pembimbing 1 dan Ibu Dwi Candra Pratiwi, S.Pi, M.Sc sebagai Dosen Pembimbing 2 atas bimbingan dan arahan sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Skripsi dengan baik.
5. Ibu Feni Iranawati, S.Pi., M.Sc., Ph.D sebagai Dosen Penguji 1 dan Bapak Andik Isdianto, ST., MT sebagai Dosen Penguji 2 atas bimbingan dan arahan sehingga Laporan Skripsi saya menjadi lebih baik.
6. Niken Pratiwi, S. Kel yang dengan sabar meladeni permintaan bantuan saya, memberi semangat serta menjawab pertanyaan dan kebingungan saya hampir setiap hari.
7. Respati Dwi Sasmita, S.Kel yang bersedia mendampingi mengurus administrasi logam berat, serta mengajari penggunaan autoklaf dan hemositometer.
8. Aulia Ghafari, S.Kel yang telah mengajari saya menggunakan hemositometer untuk pertama kalinya.
9. Hilal Rakhmawan yang selalu memberi semangat, bantuan dan bersedia mengantar serta menjemput di seluruh kegiatan rangkaian penelitian ini.
10. Shavira Ariyanthi Devi, Vina Zubaida, Gina Fauziyah, Dynda Romika Junita, Silvy Amalin Ariani, dan Alma'as Qonita Maghfiroh yang bersedia menemani sebagian kecil kegiatan dan tidak bosan mendengarkan keluh kesah serta tangisan saya.

RINGKASAN

MAYANG ANDEKA CARENINA. STUDI RESPON MIKROALGA (*Chaetoceros calcitrans*) SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI LOGAM BERAT Cd dan Cu

(di bawah bimbingan **Guntur** dan **Dwi Candra Pratiwi**)

Logam berat merupakan salah satu pencemar yang berbahaya karena bersifat toksik dan dalam jumlah besar dapat mempengaruhi berbagai aspek biologis maupun ekologis perairan. Peningkatan konsentrasi logam berat pada kolom perairan akan mengakibatkan logam berat yang semula dibutuhkan untuk proses metabolisme akan berubah menjadi racun bagi organisme perairan. Selain bersifat racun, logam berat di perairan bersifat persisten dan tidak dapat terurai melalui proses biodegradasi pencemar organik. Logam berat juga dapat terakumulasi dalam lingkungan terutama sedimen yang pada akhirnya juga akan terakumulasi pada organisme.

Upaya untuk meminimalisir dampak dari pencemaran dapat dilakukan dengan cara bioremediasi. Bioremediasi adalah penggunaan organisme untuk ditumbuhkan pada lingkungan yang mengandung bahan toksik agar dapat menurunkan kadar polutan di lingkungan. Bioremediasi memiliki beberapa mekanisme yang salah satunya adalah menggunakan makroalga maupun mikroalga yang dilakukan dengan mekanisme fitodegradasi. Fitodegradasi adalah penyerapan bahan toksik oleh tanaman lalu kemudian didegradasi (diurai). *Chaetoceros calcitrans* adalah salah satu spesies yang dapat digunakan sebagai agen bioremediasi.

Chaetoceros calcitrans adalah salah satu spesies mikroalga laut yang mendominasi sebagian besar perairan laut sehingga dapat digunakan untuk bioremediasi. *Chaetoceros calcitrans* termasuk pada spesies diatom dalam family Chaetocerotaceae. Spesies ini merupakan mikroalga fotoautotrofik, yang mana membutuhkan cahaya untuk pertumbuhannya. Mikroalga ini hidup secara uniseluler dan pada beberapa keadaan membentuk agregat. *Chaetoceros* memiliki alat gerak (setae) serta memiliki ukuran yang mencapai 20 μm (Araujo dan Gracia, 2005). Setiap sel mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dilindungi silika yang menyerupai kotak. Silika pada dinding mikroalga ini membuatnya lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang terpapar logam berat (Pratiwi, 2018)..

Penelitian mengenai bioremediasi limbah logam berat pada perairan laut dengan menggunakan mikroalga dilakukan untuk dapat meminimalisir dampak pencemaran. Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon agen bioremediasi terhadap paparan logam berat. Pada penelitian ini terjadi penurunan kepadatan sel mikroalga *Chaetoceros calcitrans* pada seluruh konsentrasi paparan logam berat Cd dan Cu kecuali pada paparan dengan konsentrasi 0 ppm (kontrol). Di akhir paparan logam berat pada seluruh konsentrasi paparan kecuali pada paparan dengan konsentrasi 0 ppm (kontrol) terjadi peningkatan berat sel kering, penambahan panjang sel, dan penurunan nilai biomassa kering.

Kata Kunci : Pencemaran, Logam Berat, Bioremediasi, *Chaetoceros calcitrans*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iv
RINGKASAN	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Mikroalga	4
2.1.1 Pengertian Mikroalga.....	4
2.1.2 Manfaat Mikroalga	4
2.2 <i>Chaetoceros calcitrans</i>	5
2.2.1 Klasifikasi <i>Chaetoceros calcitrans</i>	5
2.2.1 Ekologi <i>Chaetoceros calcitrans</i>	5
2.2.2 Morfologi <i>Chaetoceros calcitrans</i>	5
2.2.3 Fase Hidup <i>Chaetoceros calcitrans</i>	6
2.3 Bioremediasi	7
2.3.1 Pengertian Bioremediasi.....	7
2.3.2 Faktor Bioremediasi.....	7
2.3.3 Mekanisme Bioremediasi.....	8
2.4 Logam Berat.....	8



2.4.1 Pengertian Logam Berat.....	8
2.4.2 Logam Berat Cd	9
2.4.3 Logam Berat Cu	9
III. METODE PENELITIAN.....	11
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	11
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	11
3.2.1 Alat Penelitian	11
3.2.2 Bahan Penelitian	12
3.3 Diagram Alur Penelitian.....	13
3.4 Metode Pengambilan Data	14
3.4.1 Perlakuan Penelitian.....	14
3.4.2 Monitoring Pertumbuhan Mikroalga	15
3.4.3 Identifikasi Perubahan Morfologi Sel Mikroalga	17
3.5 Analisis Data	18
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1 Monitoring Parameter Lingkungan.....	20
4.1.1 Suhu.....	21
4.1.2 Salinitas.....	22
4.1.3 Dissolved Oxygen (DO).....	24
4.1.4 pH	25
4.2 Monitoring Pertumbuhan Mikroalga.....	26
4.2.1 Paparan Logam Berat Cd	26
4.2.2 Paparan Logam Berat Cu	29
4.2.3 Analisis Pertumbuhan Sel.....	31
4.3 Analisis Perubahan Morfologi Sel.....	33
4.3.1 Hasil Pengukuran Biomassa Kering.....	33
4.3.2 Hasil Perhitungan Berat Sel Kering.....	39
4.3.3 Hasil Pengamatan Panjang Sel	45



V. PENUTUP 50

 5.1 Kesimpulan 50

 5.2 Saran 50

DAFTAR PUSTAKA..... 51

LAMPIRAN 54



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bentuk Struktur Sel Chaetoceros (Castro dan Huber, 2007).....	6
2. Alur Penelitian.....	13
3. Hasil Pengukuran Suhu	21
4. Hasil Pengukuran Salinitas	23
5. Hasil Pengukuran Dissolved Oxygen (DO)	24
6. Hasil Pengukuran pH.....	25
7. Grafik Trend Kepadatan Paparan Cd Perlakuan (A) 0 ppm; (B) 0,7 ppm; (C) 1,3 ppm; dan (D) 1,9 ppm	27
8. Grafik Trend Kepadatan Paparan Cu Perlakuan (A) 0 ppm; (B) 0,7 ppm; (C) 1,3 ppm; dan (D) 1,9 ppm	29
9. Grafik Kepadatan Paparan Cd dan Cu Perlakuan (A) 0 ppm; (B) 0,7 ppm; (C) 1,3 ppm; dan (D) 1,9 ppm	31
10. Grafik Perubahan Biomassa Kering Paparan Logam Berat (A) Cd dan (B) Cu	33
11. Interaksi Antar Perlakuan (Konsentrasi dan Waktu) Paparan Logam Berat Cd Terhadap Biomassa Kering.....	37
12. Interaksi Antar Perlakuan (Konsentrasi dan Waktu) Paparan Logam Berat Cu Terhadap Biomassa Kering.....	38
13. Grafik Perubahan Berat Sel Paparan Logam Berat (A) Cd dan (B) Cu.....	39
14. Interaksi Antar Perlakuan (Konsentrasi dan Waktu) Paparan Logam Berat Cd Terhadap Berat Sel Kering.....	43
15. Interaksi Antar Perlakuan (Konsentrasi dan Waktu) Paparan Logam Berat Cu Terhadap Berat Sel Kering.....	44
16. Grafik Perubahan Panjang Sel Paparan Logam Berat (A) Cd dan (B) Cu	45
17. Interaksi Antar Perlakuan (Konsentrasi dan Waktu) Paparan Logam Berat Cd Terhadap Panjang Sel.....	48
18. Interaksi Antar Perlakuan (Konsentrasi dan Waktu) Paparan Logam Berat Cu Terhadap Panjang Sel.....	49



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Alat Penelitian.....	11
2. Bahan Penelitian.....	12
3. Rancangan Perlakuan Penelitian.....	15
4. Interpretasi Terhadap Koefisien Korelasi	19
5. Hasil Rata-rata Pengukuran Parameter Lingkungan	20
6. Nilai Regresi Linier Kepadatan Sel.....	31
7. Hasil Analisis <i>Two-way</i> ANOVA Biomassa Kering	34
8. Hasil Uji BNT Biomassa Kering Waktu Paparan Logam Berat Cd.....	36
9. Hasil Uji BNT Biomassa Kering Konsentrasi Paparan Logam Berat Cd	36
10. Hasil Uji BNT Biomassa Kering Waktu Paparan Logam Berat Cu.....	37
11. Hasil Uji BNT Biomassa Kering Konsentrasi Paparan Logam Berat Cu	38
12. Hasil Analisis <i>Two-way</i> ANOVA Berat Sel Kering	40
13. Hasil Uji BNT Berat Sel Kering Waktu Paparan Logam Berat Cd.....	42
14. Hasil Uji BNT Berat Sel Kering Konsentrasi Paparan Logam Berat Cd	42
15. Hasil Uji BNT Berat Sel Kering Waktu Paparan Logam Berat Cu.....	43
16. Hasil Uji BNT Berat Sel Kering Konsentrasi Paparan Logam Berat Cu	44
17. Hasil Analisis <i>Two-way</i> ANOVA Panjang Sel.....	46
18. Hasil Uji BNT Panjang Sel Waktu Paparan Logam Berat Cd	47
19. Hasil Uji BNT Panjang Sel Waktu Paparan Logam Berat Cu	48
20. Hasil Uji BNT Panjang Sel Konsentrasi Paparan Logam Berat Cu.....	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Hasil Perhitungan Kepadatan Mikroalga Paparan Cd	54
2. Hasil Perhitungan Kepadatan Mikroalga Paparan Cu	55
3. Hasil Pengukuran Biomassa Kering Mikroalga Paparan Cd.....	56
4. Hasil Pengukuran Biomassa Kering Mikroalga Paparan Cu.....	56
5. Hasil Perhitungan Berat Sel Mikroalga Paparan Cd.....	56
6. Hasil Perhitungan Berat Sel Mikroalga Paparan Cu.....	56
7. Panjang Sel Paparan Cd	57
8. Panjang Sel Paparan Cu	58
9. Hasil Analisis <i>Two-way</i> ANOVA Biomassa Kering Paparan Cd	59
10. Hasil Analisis <i>Two-way</i> ANOVA Biomassa Kering Paparan Cu	63
11. Hasil Analisis <i>Two-way</i> ANOVA Berat Sel Kering Paparan Cd	67
12. Hasil Analisis <i>Two-way</i> ANOVA Berat Sel Kering Paparan Cu	71
13. Hasil Analisis <i>Two-way</i> ANOVA Panjang Sel Paparan Cd.....	75
14. Hasil Analisis <i>Two-way</i> ANOVA Panjang Sel Paparan Cu	79
15. Hasil Pengukuran Suhu pada Paparan Cd.....	83
16. Hasil Pengukuran Suhu pada Paparan Cu.....	83
17. Hasil Pengukuran Salinitas pada Paparan Cd.....	84
18. Hasil Pengukuran Salinitas pada Paparan Cu.....	84
19. Hasil Pengukuran DO pada Paparan Cd.....	85
20. Hasil Pengukuran DO pada Paparan Cu.....	85
21. Hasil Pengukuran pH pada Paparan Cd	86
22. Hasil Pengukuran pH pada Paparan Cu	86



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran adalah masuknya suatu bahan material ke dalam lingkungan yang menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem. Saat ini, kebutuhan manusia terhadap sumber daya alam meningkat sehingga menyebabkan dampak negatif berupa pencemaran lingkungan (Viobeth *et al.*, 2013). Pencemaran dapat memberi dampak buruk bagi organisme yang ada pada ekosistem. Menurut Hayati (2005), pencemaran perairan dapat diakibatkan oleh limbah industri, residu pertanian dan limbah penambangan. Salah satu bahan pencemar di perairan yang berbahaya adalah logam berat.

Logam berat merupakan salah satu pencemar yang berbahaya karena bersifat toksik dan dalam jumlah besar dapat mempengaruhi berbagai aspek biologis maupun ekologis perairan. Peningkatan konsentrasi logam berat pada kolom perairan akan mengakibatkan logam berat yang semula dibutuhkan untuk proses metabolisme akan berubah menjadi racun bagi organisme perairan. Selain bersifat racun, logam berat di perairan bersifat persisten dan tidak dapat terurai melalui proses biodegradasi pencemar organik. Selain itu, juga dapat terakumulasi dalam lingkungan terutama sedimen yang pada akhirnya juga akan terakumulasi pada organisme (Dahuri, 2013). Logam berat Cd dan Cu termasuk logam berat yang banyak ditemui di perairan karena berasal dari limbah industri. Perlu dilakukan upaya untuk meminimalisir dampak dari pencemaran, misalnya dengan melakukan bioremediasi.

Bioremediasi adalah penggunaan organisme untuk ditumbuhkan pada lingkungan yang mengandung bahan toksik agar dapat menurunkan kadar polutan di lingkungan (Priadie, 2012). Bioremediasi juga memiliki beberapa mekanisme yang salah satunya adalah menggunakan makroalga maupun

mikroalga. Bioremediasi dengan makroalga atau mikroalga dapat dilakukan dengan mekanisme fitodegradasi. Fitodegradasi adalah penyerapan bahan toksik oleh tanaman lalu kemudian didegradasi (diurai). *Chaetoceros calcitrans* adalah salah satu spesies yang dapat digunakan sebagai agen bioremediasi.

Chaetoceros calcitrans adalah salah satu spesies mikroalga laut yang mendominasi sebagian besar perairan laut sehingga dapat digunakan untuk bioremediasi. *Chaetoceros calcitrans* termasuk pada spesies diatom dalam family Chaetocerotaceae. Spesies ini merupakan mikroalga fotoautotrofik, yang mana membutuhkan cahaya untuk pertumbuhannya. Mikroalga ini hidup secara uniseluler dan pada beberapa keadaan membentuk agregat. *Chaetoceros* memiliki alat gerak (setae) serta memiliki ukuran yang mencapai 20 μm (Araujo dan Gracia, 2005). Setiap sel mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dilindungi silika yang menyerupai kotak. Silika pada dinding mikroalga ini membuatnya lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang terpapar logam berat (Pratiwi, 2018).

Penelitian mengenai bioremediasi limbah logam berat pada perairan laut dengan menggunakan mikroalga dilakukan untuk dapat meminimalisir dampak pencemaran. Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon agen bioremediasi terhadap paparan logam berat. Kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Hidrobiologi dan Laboratorium Keamanan Hasil Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pola pertumbuhan mikroalga sebagai agen bioremediasi paparan logam berat Cd dan Cu?
2. Bagaimana respon morfologi sel mikroalga sebagai agen bioremediasi

paparan logam berat Cd dan Cu?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Monitoring pola pertumbuhan mikroalga sebagai agen bioremediasi paparan logam berat Cd dan Cu.
2. Menganalisis respon morfologi sel mikroalga sebagai agen bioremediasi paparan logam berat Cd dan Cu.

1.4 Manfaat

Skripsi ini berguna sebagai acuan atau perbandingan bagi penelitian selanjutnya, terutama mengenai respon mikroalga sebagai agen bioremediasi. Hasil yang didapatkan nanti dapat menjadi regulasi akan pentingnya mengelola limbah yang mengandung logam berat sebelum dibuang ke lingkungan sehingga potensi mikroalga sebagai agen bioremediasi dapat lebih maksimal digunakan untuk menanggulangi pencemaran laut akibat logam berat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikroalga

2.1.1 Pengertian Mikroalga

Mikroalga adalah kelompok tumbuhan berukuran renik yang masuk dalam kelas alga. Mikroalga termasuk eukariotik, pada umumnya bersifat fotosintetik dengan pigmen fotosintetik hijau (klorofil), coklat (fikosantin), biru kehijauan (fikobilin), dan merah (fikoeritrin). Belum ada pembagian yang jelas pada komponen-komponen sel mikroalga yang membuatnya berbeda dengan tumbuhan tingkat tinggi. Ukuran dari mikroalga memiliki diameter 3-30 μm dan merupakan organisme bersel tunggal namun ada juga yang hidup berkoloni. Ada sebagian spesies mikroalga yang hidup di perairan tawar dan juga di laut (Romimohtarto, 2004).

2.1.2 Manfaat Mikroalga

Mikroalga sangat adaptif dan mampu hidup secara autotrof, heterotrof atau miksotrof. Pada lingkungan alami, alga berperan sangat penting dalam mengontrol konsentrasi logam di danau maupun laut. Hal ini berkaitan dengan kemampuannya dalam mendegradasi atau mengakumulasi logam berat toksik dan polutan organik seperti fenolik, hidrokarbon, pestisida, dan bipenil dari lingkungan dan mengakumulasinya, sehingga konsentrasi dalam alga lebih tinggi dari konsentrasi di polutan yang ada di lingkungan. Pengambilan logam oleh mikroalga dilakukan dalam 2 cara yaitu adsorpsi dan absorpsi. Adsorpsi merupakan metabolisme sel yang dilakukan secara bebas, secara fisik terjadi pada permukaan sel kemudian logam menuju sitoplasma (kemoadsorpsi). Absorpsi merupakan metabolisme sel yang tergantung pada pengambilan logam berat secara intraseluler. Pb, Cu, Cd, Co, Hg, Zn, Mg, Ni dan Ti berkaitan dengan

polifosfat alga dan berfungsi sebagai penyimpan dan detoksifikasi logam (Dwivedi, 2012).

2.2 *Chaetoceros calcitrans*

2.2.1 Klasifikasi *Chaetoceros calcitrans*

Klasifikasi *Chaetoceros calcitrans* menurut Algaebase (2018), adalah

Empire	: Eukaryota
Kingdom	: Chromista
Phylum	: Bacillariophyta
Subphylum	: Bacillariophytina
Class	: Mediophyceae
Subclass	: Chaetocerotophycidae
Order	: Chaetocerotales
Family	: Chaetocerotaceae
Genus	: <i>Chaetoceros</i>
Species	: <i>Chaetoceros calcitrans</i>

2.2.1 Ekologi *Chaetoceros calcitrans*

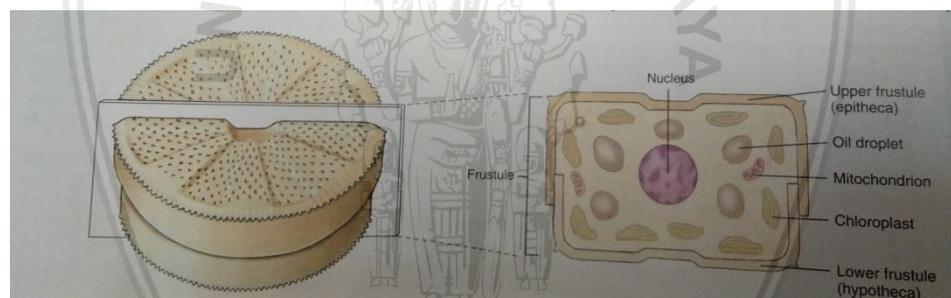
Spesies *Chaetoceros calcitrans* ini dapat hidup pada temperatur 10^o-20^oC dan dapat dikultur massal pada air laut yang diperkaya dengan pupuk anorganik dan atau pupuk kandang (BBL, 2002). Tetapi pertumbuhan populasi mikroalga ini tidak stabil (seperti pada fase adaptasi kadang kala berlangsung panjang dan pada fase stationer berlangsung pendek) dan pertumbuhannya masih tetap stabil walaupun dikultur secara massal di luar ruangan (Fulks dan Main,1991).

2.2.2 Morfologi *Chaetoceros calcitrans*

Chaetoceros berbentuk sel tunggal tidak berantai dan memiliki cangkang yang kembang. *Chaetoceros* memiliki alat gerak (setae) serta memiliki ukuran

yang mencapai 20 μm . Alat gerak pada *Chaetoceros* awalnya muncul pada sudut tubuh, membentuk kurva kemudian menjadi paralel. Terdapat auksospora di tengah-tengah sel induk yang bercangkang besar. Apikal axis dari mikroalga ini memiliki panjang apikal axis sebesar 6-10 μm (Araujo dan Gracia, 2005).

Diatom dari filum Bacillariophyta merupakan organisme bersel tunggal atau uniseluler walaupun beberapa spesiesnya membentuk agregat. Sel *Chaetoceros* terdiri dari nukleus, *frustule*, *oil droplet*, mitokondria, dan kloroplas. *Frustule* adalah dinding sel dari sel *Chaetoceros* yang terbagi menjadi dua bagian. Bagian atas *frustule* disebut dengan epiteka (*epitheca*) sedangkan bagian bawahnya disebut dengan hipoteka (*hypotheca*). Dinding sel *Chaetoceros* sebagian besar terbuat dari silika (SiO_2). Warna dari diatom adalah kuning kecoklatan karena pigmen dominan yang dimiliki adalah karotenoid (Castro dan Huber, 2007).



Gambar 1. Bentuk Struktur Sel *Chaetoceros* (Castro dan Huber, 2007).

2.2.3 Fase Hidup *Chaetoceros calcitrans*

Menurut Fogg (1975), pertumbuhan mikroalga terjadi dalam berbagai fase yaitu (1) fase lag/adaptasi, yaitu fase di menyesuaikan diri dengan lingkungannya, (2) fase log/eksponensial, merupakan fase pertumbuhan yang cepat, ditandai dengan aktifnya sel-sel yang dapat diamati, (3) fase stationer, yaitu fase di mana laju tumbuh dan kematian seimbang sehingga jumlah total yang hidup tetap, (4) fase penurunan pertumbuhan dan berakhir pada (5) fase kematian sel.

2.3 Bioremediasi

2.3.1 Pengertian Bioremediasi

Remediasi (pemulihan) kondisi sumber air dan tanah terkontaminasi dapat dilakukan secara fisik, kimia dan biologi, namun teknik biologi lebih murah dan efektif. Oleh karena itu, maka pengembangan teknik bioremediasi menjadi teknologi alternatif pengendalian pencemaran sumber air dan tanah yang terkontaminasi secara *in-situ*. Secara harafiah bio berarti kehidupan (organisme) dan remediasi berarti perbaikan, sehingga bioremediasi berarti perbaikan lingkungan dengan menggunakan organisme. Bioremediasi merupakan proses pembersihan lingkungan dari bahan pencemar secara biologi dengan menggunakan organisme hidup. Berdasarkan organisme yang digunakan, maka bioremediasi terdiri dari (mikro)bioremediasi, fikoremediasi, mikoremediasi, dan fitoremediasi. Proses fikoremediasi merupakan pemanfaatan alga untuk menghilangkan polutan dari lingkungan atau mengubahnya menjadi bentuk yang kurang beracun. Dalam cakupan yang lebih luas, fikoremediasi merupakan pemanfaatan mikro maupun makroalga untuk menghilangkan atau mentransformasi polutan, termasuk nutrisi dari limbah cair dan CO₂ dari udara (Shamsuddoha *et al.*, 2006). Namun penelitian tentang fikoremediasi lebih banyak dilakukan dengan mikroalga, sehingga ada kecenderungan penggunaan istilah fikoremediasi sebagai upaya pemanfaatan mikroalga untuk remediasi lingkungan (Soeprbowati & Hariyati, 2013).

2.3.2 Faktor Bioremediasi

Faktor yang mempengaruhi proses bioremediasi antara lain yaitu lingkungan, nutrisi dan mikroba. Lingkungan yang mempengaruhi proses bioremediasi adalah oksigen, DO, pH dan suhu. Nutrisi yang mempengaruhi proses bioremediasi adalah nutrisi yang dibutuhkan bagi mikroalga yaitu karbon

(C), Nitrogen (N), Fosfor (P), dan lain-lain. Mikroalga mampu untuk menyerap, mentransformasi dan mendegradasi senyawa pencemar (Puspitasari dan Khaeruddin, 2016).

2.3.3 Mekanisme Bioremediasi

Mikroalga secara umum mempunyai mekanisme perlindungan diri terhadap logam berat. Tetapi jika konsentrasi logam semakin tinggi dapat mengganggu pertumbuhan mikroalga, karena mekanisme perlindungannya tidak mampu menahan sifat toksik logam berat tersebut (Wang dan Chen, 2009). Mekanisme penyerapan logam berat oleh mikroalga terdiri atas dua proses yakni pertukaran ion dan pengikatan ion logam berat oleh gugus fungsi yang terdapat pada permukaan sel. Dinding sel mikroalga umumnya terdiri atas selulosa yang memiliki gugus fungsional seperti hidroksil yang dapat berikatan dengan logam berat. Mikroalga dapat mengadsorpsi ion logam disebabkan adanya kandungan protein dan selulosa. Gugus yang berperan dalam protein adalah asam amino dan dalam selulosa adalah hidroksil. Kedua gugus tersebut dapat berperan sebagai penukar ion dan sebagai adsorben terhadap logam dalam air limbah (Zahroh, 2010).

2.4 Logam Berat

2.4.1 Pengertian Logam Berat

Limbah logam berat menimbulkan efek racun bagi manusia, sehingga dianggap limbah yang paling berbahaya. Logam berat larut di dalam air sampai akhirnya turun, mengendap di dasar perairan dan membentuk sedimentasi. Akibat dari sedimentasi logam berat yang terjadi akan membuat biota laut yang hidup dan mencari makan di dasar perairan akan berpeluang untuk terkontaminasi logam berat. Logam berat yang berada di lingkungan akan

berpindah ke organisme dan melalui rantai makanan akan berpindah dari organisme satu ke organisme lainnya (Setiawan, 2013).

Ada dua jenis logam berat yaitu logam berat esensial dan logam berat non esensial. Logam berat esensial adalah logam berat yang dibutuhkan organisme dalam jumlah tertentu, namun bersifat racun jika dalam jumlah yang berlebihan. Contoh logam berat esensial adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lain-lain. Logam berat non esensial adalah logam yang belum diketahui manfaatnya bahkan bersifat racun di dalam tubuh. Contoh logam berat non esensial adalah Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain (Irhamni et al., 2017).

2.4.2 Logam Berat Cd

Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya untuk lingkungan. Menurut Widowati *et al.* (2008), Cd belum diketahui fungsinya secara biologis namun dianggap memiliki toksisitas yang tinggi. Logam berat Cd pada konsentrasi tertentu yang terlarut dalam air akan berubah menjadi racun bagi organisme perairan. Kontaminasi logam berat Cd yang terakumulasi pada biota perairan pada akhirnya akan berdampak pada manusia. Menurut Mihardja dan Pranowo (2001), logam berat Cd memiliki titik lebur 320,9°C dan titik didih 765°C. Logam berat ini banyak digunakan pada industri plastik, pewarna tekstil, dan baterai. Limbah industri merupakan salah satu penyumbang terbesar logam berat Cd di perairan.

2.4.3 Logam Berat Cu

Tembaga (Cu) termasuk elemen mikro yang berbahaya bagi makhluk hidup dalam jumlah tertentu walaupun termasuk dalam logam berat esensial. Logam berat ini termasuk salah satu komponen penyusun minyak bumi serta olahan lainnya. Logam berat dalam perairan akan mudah terserap dan tertimbun ke

dalam mikroorganisme terutama fitoplankton. Logam berat juga akan memasuki rantai makanan di laut serta berpindah-pindah sumbernya dari waktu ke waktu (Fismawati, 2010). Menurut Darmono (1995), logam berat Cu memiliki titik lebur $1.083,4^{\circ}\text{C}$ dan titik didih 2.567°C . Logam berat ini banyak digunakan pada pabrik yang memproduksi zat warna, gelas, dan peralatan listrik. Selain itu juga logam berat Cu banyak digunakan dalam industri fungisida dan industri cat. Penyumbang logam berat Cu di perairan salah satunya adalah limbah industri dan cat kapal.



III. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini meliputi preparasi sampel mikroalga yang digunakan sebagai agen bioremediasi, pengamatan laboratorium (pengukuran kepadatan, pengukuran biomassa kering, perhitungan berat sel kering mikroalga dan pengukuran panjang), analisis data dan penyusunan laporan skripsi. Preparasi sampel mikroalga dan pengamatan laboratorium dilakukan di Laboratorium Hidrobiologi dan Laboratorium Keamanan Hasil Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan pada bulan Februari hingga Maret 2019.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini beserta fungsinya disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Fungsi
1	Botol bensin	-	Wadah uji bioremediasi
2	Toples Kaca	3000 ml	Wadah kultur mikroalga
3	Selang aerasi	20 m	Menghubungkan aerator dengan batu aerasi
4	Batu aerasi	-	Membantu mengaerasi sampel
5	Lampu TL	Philips 18 W	Sumber cahaya mikroalga
6	Aerator	-	Sampel teraerasi dan homogeny
7	Beaker glass	Pirex	Wadah air ballast, dan sebagai alat ukur volume pada saat kultur dan pengenceran logam berat
8	Gelas ukur	Pirex	Alat ukur volume pada saat kultur mikroalga dan pengenceran logam berat
9	Pipet tetes	-	Alat untuk mengambil dan memasukkan larutan dalam volume kecil/ tidak tentu (<1ml)
10	Pipet volume	Pirex	Alat untuk mengambil dan memasukkan larutan dengan volume tertentu.
11	Kamera	Microsoft	Alat dokumentasi kegiatan
12	Botol kaca bening	-	Wadah vitamin, diatom, dan silikat
13	Autoklaf	AST	Alat untuk sterilisasi alat berbahan kaca

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Fungsi
14	Kompas gas	-	Memanaskan air laut untuk media air laut
15	Botol film	-	Wadah sampel yang diambil untuk pengujian
16	Mikroskop	Binocular	Membantu melihat koloni dan sel mikroalga
17	Haemocytometer	Bauer	Wadah sampel mikroalga yang dihitung kepadatan selnya
18	Hand tally counter	-	Membantu menghitung kepadatan mikroalga
19	Timbangan analitik	Radweg AS 220/X	Membantu menghitung biomassa mikroalga
20	Vacuum pump	Value	Membantu menghilangkan air dari sampel mikroalga
21	Oven	MMM MedCenter EcoCell	Membantu menghilangkan air dari sampel mikroalga
22	Termometer digital		Alat ukur suhu air sampel
23	Salinometer	Atago	Alat ukur salinitas air sampel
24	DO meter	Eutech	Alat ukur DO air sampel
25	pH meter	Krisbow	Alat ukur pH air sampel

3.2.2 Bahan Penelitian

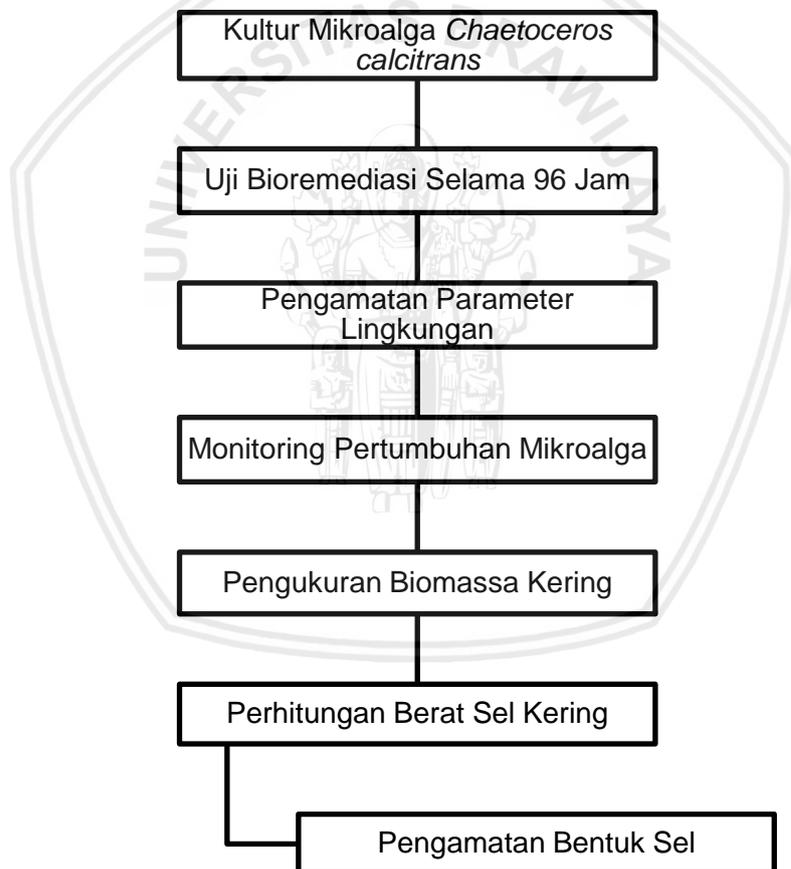
Bahan yang digunakan pada penelitian ini beserta fungsinya disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Bahan Penelitian

No.	Nama Bahan	Spesifikasi	Fungsi
1	Air Laut Steril	-	Media kultur dan pengujian
2	Aquadest	Hydrobatt	Mencuci dan kalibrasi alat
3	Tissue	Paseo	Membersihkan kotoran pada alat
4	Benih Mikroalga <i>Chaetoceros</i>	-	Objek penelitian yang diamati
5	Aluminium foil	Total Wrap	Penutup wadah saat kultur dan pengujian
6	Plastic wrap	Total Wrap	Penutup wadah saat kultur dan pengujian
7	Kapas gulung	-	Penutup wadah saat sterilisasi
8	Kain kasa	-	Penutup wadah saat sterilisasi
9	Vitamin	-	Sumber nutrisi saat kultur mikroalga
10	Diatom	-	Sumber nutrisi saat kultur mikroalga
11	Silikat	-	Sumber nutrisi saat kultur mikroalga
12	Logam berat Cd	-	Bahan pencemar yang diujikan
13	Logam berat Cu	-	Bahan pencemar yang diujikan
14	Kertas saring	Whatman	Menyaring mikroalga
15	Kertas label	Kenko	Memberi label pada wadah dengan isi berbeda
16	Teepol	-	Membersihkan alat yang telah terkena logam berat
17	Alkohol 70%	OneMed	Membersihkan haemositometer

3.3 Diagram Alur Penelitian

Alur penelitian dimulai dari pembuatan proposal skripsi yang mengacu pada penelitian sebelumnya. Dilakukan preparasi sampel mikroalga yang digunakan sebagai agen bioremediasi, pengamatan pertumbuhan mikroalga, pengukuran biomassa kering mikroalga dan perhitungan berat sel mikroalga. Hasil yang didapatkan dari pengamatan laboratorium dianalisa secara deskriptif. Akhir dari tahap ini akan dimasukkan dalam laporan skripsi. Visualisasi alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian

3.4 Metode Pengambilan Data

3.4.1 Perlakuan Penelitian

Kultur mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dilakukan pada suhu ruang agar pertumbuhan optimal dengan pencahayaan Lampu TL dan menggunakan media pertumbuhan air laut sesuai dengan tempat hidup *Chaetoceros calcitrans* laut yang diberi tambahan vitamin, diatom dan silikat. Media kultur dibuat dari bahan air laut yang sudah disterilkan. Air laut sebelumnya disaring dahulu agar tidak ada kotoran dan padatan yang masuk. Sterilisasi dilakukan dengan cara merebus air laut sampai titik didih. Air laut yang mendidih kemudian didiamkan selama 24 jam sampai suhunya sama dengan suhu ruangan. Setelah itu, air laut, starter mikroalga, dan pakan dimasukkan ke dalam gelas Erlenmeyer volume 1 liter yang sudah steril dengan perbandingan rasio 1000: 200: 1 ml tiap Erlenmeyer. Kultur kemudian diberi label disertai tanggal inokulasi kultur dan diberi aerasi agar homogeny (Rahmadiani dan Aunurohim, 2013).

Paparan logam berat terhadap mikroalga dengan konsentrasi tertentu dilakukan selama 96 jam. Digunakan 4 perlakuan yang berbeda yaitu dengan perbedaan konsentrasi logam berat. Konsentrasi logam berat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0; 0,7; 1,3; dan 1,9 ppm. Penentuan konsentrasi terbesar berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Murugesan (2008) yang melakukan penelitian *Spirulina platensis* yang dipapar logam berat Cd dengan 2 konsentrasi terbesarnya yaitu 1,3 dan 1,9 ppm. Pada penelitian yang dilakukan oleh Murugesan diindikasikan bahwa mikroalga *Spirulina platensis* sangat sensitif terhadap konsentrasi logam berat Cd dengan konsentrasi yang rendah (<2,2 mg/L). Berbagai konsentrasi paparan logam berat Cd menurunkan produktifitas mikroalga *Spirulina platensis*. Menurut Larasati (2017), terjadinya kenaikan jumlah sel pada waktu paparan 12 dan 24 jam konsentrasi 0,7 ppm Cu karena konsentrasi tersebut dapat menstimulasi pertumbuhan sel mikroalga, sesuai

mempengaruhi fotosintesis pada mikroalga. Proses fotosintesis mikroalga akan mempengaruhi produksi biomassa dan kandungan biokimia sel (Manurung, 2008).

Monitoring pertumbuhan mikroalga dilakukan dengan menghitung kepadatan sel mikroalga dilakukan dengan menggunakan Haemocytometer pada Mikroskop dengan bantuan Handcounter. Siapkan mikroskop dan haemositometer yang akan digunakan lalu bersihkan hemositometer menggunakan alkohol 70%. Kemudian ambil sampel menggunakan pipet tetes dan teteskan 1 ml sampel ke haemositometer. Pasang haemositometer pada mikroskop lalu hitung jumlah sel yang ada (Mahdi *et. al.*, 2012). Jumlah sel dihitung menggunakan hemositometer *Improved Neubauer* dengan perhitungan total sel (sel/ml) adalah jumlah sel pada 5 kotak x faktor pengenceran $\times 10^4$ (Djuwita *et. al.*, 2012)..

Saat kepadatan sel tidak terlalu padat, sampel dapat dihitung dengan menentukan 4 sisi (a, b, c, d) kotak besar pada hemositometer bagian atas dan bagian bawah hemositometer kemudian dimasukkan ke dalam rumus berikut :

$$\text{Kepadatan Sel (Renggang)} \left(\frac{\text{sel}}{\text{ml}} \right) = \left(\frac{a + b + c + d}{4} \right) \times 10.000$$

Jika kepadatan sel terlalu padat, sampel dapat dihitung dengan menentukan 5 sisi (a, b, c, d, e) kotak kecil pada hemositometer bagian atas dan bawah hemositometer kemudian dimasukkan ke dalam rumus berikut :

$$\text{Kepadatan Sel (Rapat)} \left(\frac{\text{sel}}{\text{ml}} \right) = (a + b + c + d + e) \times 5 \times 10.000$$

Kepadatan mikroalga *Chaetoceros calcitrans* dihitung setiap 12 jam sekali untuk mengetahui penurunan kepadatan akibat paparan logam berat Cd dan Cu. Menurut Isnansetyo dan Kurniastuti (1995), pertumbuhan mikroalga dalam kultur dapat ditandai dengan bertambah besarnya ukuran sel atau bertambah banyaknya jumlah sel.

3.4.3 Identifikasi Perubahan Morfologi Sel Mikroalga

1. Pengukuran Biomassa Kering

Pengukuran biomassa kering mikroalga diukur dengan cara meneteskan sampel mikroalga dalam jumlah tertentu pada kertas saring. Sebelum meneteskan sampel mikroalga, perlu ditimbang terlebih dahulu berat dari kertas saring. Kemudian, kertas saring beserta mikroalga divacuum dengan *vacuum pump* (pompa vakum) untuk menghilangkan airnya. Setelah divacuum, kertas saring beserta mikroalga dimasukkan ke dalam oven untuk menghilangkan sisa airnya. Setelah benar-benar kering kemudian kertas saring beserta mikroalga ditimbang lagi. Biomassa kering mikroalga didapat dalam satuan gram. Menurut Mahdi *et. al.* (2012), timbang kertas saring kosong (W1). Kemudian saring mikroalga dalam medianya dengan bantuan pompa vakum, keringkan kertas saring tersebut dengan oven pada suhu 50°C selama 30 menit. Setelah kering, timbang kertas saring tersebut (W2) dan biomassa kering yang didapat (gram) = W2 (gram) – W1 (gram).

Biomassa kering mikroalga dihitung setiap 24 jam sekali secara cuplikan saja yaitu 1 sampel untuk setiap perlakuan. Diasumsikan telah terjadi perubahan yang cukup banyak terhadap biomassa kering mikroalga jika dihitung setiap 24 jam sekali. Pengambilan cuplikan untuk setiap perlakuan dianggap mewakili keseluruhan biomassa kering mikroalga.

2. Perhitungan Berat Sel Kering

Perkembangan yang terjadi pada organel sel akan meningkatkan berat sel (Danquah *et. al.*, 2009). Berat sel mikroalga (gram/sel) dapat diketahui dengan menggunakan data kepadatan sel (sel/ml) dan data biomassa kering (gram). Berat sel dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Berat Sel Kering} \left(\frac{\text{gram}}{\text{sel}} \right) = \frac{\text{Biomassa Kering (gram)}}{\text{Kepadatan Sel} \left(\frac{\text{sel}}{\text{ml}} \right)}$$

Tahap awal untuk perhitungan berat sel kering ini adalah dengan memasukkan data kepadatan sel dan data biomassa kering pada aplikasi *Microsoft Excel*. Setelah itu dimasukkan rumus untuk diolah agar mendapatkan nilai berat sel kering. Berat sel kering mempresentasikan berat mikroalga pada satuan individu sel, sedangkan biomassa kering merupakan ukuran berat mikroalga dalam kelompok (10 ml).

3. Pengamatan Panjang Sel

Perkembangan yang terjadi pada organel sel selain akan meningkatkan berat sel juga akan meningkatkan ukuran sel (Danquah *et. al.*, 2009). Bentuk dan panjang sel mikroalga diamati dengan menggunakan mikroskop kamera. Sampel yang ditetaskan pada kaca preparat akan diletakkan pada lensa mikroskop yang terhubung dengan kamera dan komputer. Setelah sampel muncul di layar, dapat difoto dan disimpan gambarnya. Selain untuk mengambil foto dan menyimpan gambar, ukuran sel dapat diukur dari komputer tersebut.

3.5 Analisis Data

Analisis data yang dilakukan pada penelitian ini berupa analisis korelasi yang dilakukan pada aplikasi *Microsoft Excel* dan analisis *Two-way ANOVA* (*Analysis of Variance*), dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) yang dilakukan pada aplikasi SPSS. Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kepadatan sel dengan waktu paparan. Menurut Astuti (2017), analisis korelasi didefinisikan sebagai metode statistika yang digunakan untuk mengukur keeratan antara dua variabel. Sarwono (2006) memberi kriteria untuk memudahkan interpretasi kekuatan hubungan antar dua variabel yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Interpretasi Terhadap Koefisien Korelasi

Besar Koefisien Korelasi	Interpretasi Koefisien Korelasi
0,00	Tidak Ada Korelasi
0,01 – 0,20	Korelasi Sangat Lemah
0,21 – 0,40	Korelasi Cukup
0,41 – 0,70	Korelasi Kuat
0,71 – 0,99	Korelasi Sangat Kuat
1,00	Korelasi Sempurna

Analisis *Two-way* ANOVA digunakan untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari waktu paparan dan nilai konsentrasi paparan (faktor) terhadap biomassa kering, berat sel kering dan panjang sel (respon) (Furqon, 2009). Menurut Hasan (2003), *Two-way* ANOVA digunakan apabila sumber keragaman yang terjadi tidak hanya karena satu faktor sehingga harus memperhatikan faktor lain yang mungkin menjadi sumber keragaman respon.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Monitoring Parameter Lingkungan

Parameter lingkungan diukur untuk mengetahui apakah keadaan lingkungan tempat tumbuh mikroalga dalam kondisi yang baik atau tidak. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran parameter lingkungan yaitu suhu, salinitas, DO dan pH yang akan dibahas lebih lanjut pada bahasan tersendiri. Parameter lingkungan pada penelitian ini diukur setiap 12 jam sekali pada seluruh perlakuan. Suhu, salinitas, DO dan pH adalah parameter lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga. Data hasil pengukuran parameter lingkungan perlakuan Cd dan Cu disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Rata-rata Pengukuran Parameter Lingkungan

Logam Berat	Konsentrasi	Suhu (°C)	Salinitas (ppt)	DO (mg/l)	pH
Cd	0 ppm	27,06±1,05	27,02±0,91	6,86±0,17	8,14±0,09
	0,7 ppm	27,09±1,13	27,08±1,05	6,52±0,25	7,98±0,07
	1,3 ppm	27,06±1,14	27,09±0,97	6,41±0,29	7,98±0,16
	1,9 ppm	26,96±1,13	26,45±0,97	6,33±0,43	7,91±0,11
	Rata-rata	27,04±1,07	26,91±1,23	6,53±0,39	8,00±0,14
Cu	0 ppm	27,12±1,07	27,20±0,99	6,80±0,15	8,30±0,15
	0,7 ppm	27,10±1,12	27,14±1,19	6,43±0,32	8,23±0,18
	1,3 ppm	27,09±1,15	26,89±1,30	6,39±0,37	8,06±0,12
	1,9 ppm	27,01±1,18	26,92±1,47	6,31±0,48	7,87±0,09
	Rata-rata	27,08±1,08	27,04±0,94	6,48±0,35	8,12±0,21

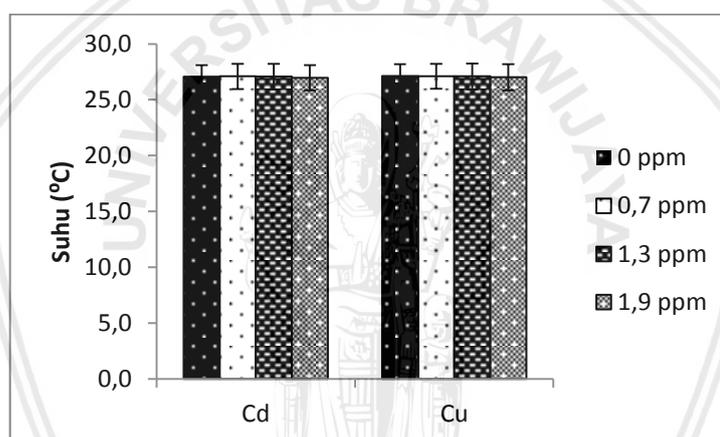
*keterangan ± = st. dev

Rata-rata suhu paparan Cd adalah 27,04°C dengan standar deviasi 1,07 sedangkan rata-rata suhu paparan logam berat Cu adalah 27,08°C dengan standar deviasi 1,08. Salinitas pada paparan logam berat Cd memiliki rata-rata 26,91 ppt dengan standar deviasi 1,23 sedangkan paparan logam berat Cu adalah 27,04 ppt dengan standar deviasi 0,94. Nilai rata-rata DO paparan logam

berat Cd adalah 6,53 dengan standar deviasi 0,39 sedangkan untuk paparan logam berat Cu adalah 6,48 dengan standar deviasi 0,35. Nilai rata-rata pH paparan logam berat Cd bernilai 8,00 dengan standar deviasi 0,14 yang mana nilai ini sedikit lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai pH paparan logam berat Cu yaitu 8,12 dengan standar deviasi 0,21.

4.1.1 Suhu

Secara umum, suhu adalah salah satu parameter fisika yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga. Hasil pengukuran suhu pada seluruh perlakuan dengan paparan logam berat Cd dan Cu disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pengukuran Suhu

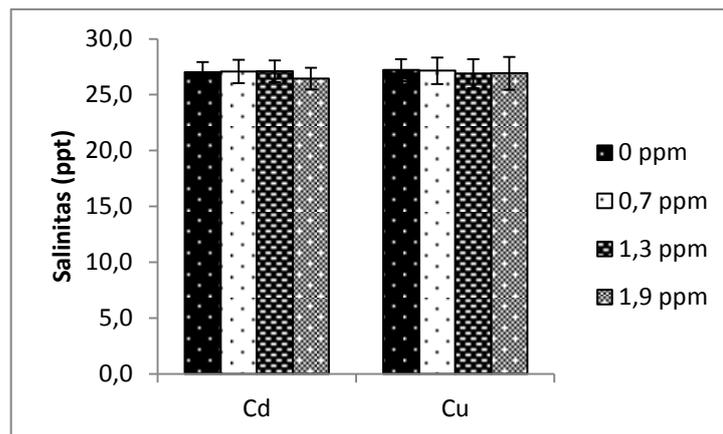
Dilihat dari Gambar 3, suhu pada kedua paparan logam berat tidak jauh berbeda walaupun suhu paparan logam berat Cu cenderung lebih tinggi. Menurut Manurung (2008), temperatur 20 - 30°C membuat pertumbuhan mikroalga *Chaetoceros calcitrans* terjadi secara normal, sedangkan temperatur yang optimal bagi pertumbuhannya adalah 25 - 30°C. Suhu pada paparan logam berat Cd memiliki rentang dari 26,96 – 27,09 °C sedangkan paparan logam berat Cu memiliki rentang dari 27,01 – 27,12 °C. Dilihat dari keseluruhan nilai rata-ratanya, suhu pada seluruh paparan logam berat dengan konsentrasi 1,9 ppm memiliki nilai yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi lainnya.

Suhu dengan nilai tertinggi paparan logam berat Cd dimiliki oleh konsentrasi paparan 0,7 ppm dan nilai terendah dimiliki oleh konsentrasi paparan 1,9 ppm. Suhu dengan nilai tertinggi paparan logam berat Cu dimiliki oleh konsentrasi paparan 0 ppm dan nilai terendah dimiliki oleh konsentrasi paparan 1,9 ppm.

Kusumaningtyas *et al.* (2014) menyatakan bahwa proses fisik, kimia dan biologi di perairan dapat dipengaruhi oleh perubahan suhu. Dapat dikatakan bahwa aktivitas metabolisme mikroalga pada paparan logam berat Cu lebih tinggi bila dibandingkan dengan paparan logam berat Cd karena suhu yang lebih tinggi. Menurut Sarjono (2009), suhu tinggi tidak hanya dapat meningkatkan aktivitas metabolisme namun dapat meningkatkan toksisitas logam berat di perairan. Kusumastanto (2004) juga menyatakan bahwa suhu yang tinggi akan mengakumulasi konsentrasi logam berat karena partikel logam berat bergerak lebih cepat pada suhu tinggi. Namun pada penelitian ini suhu pada paparan logam berat Cd maupun Cu cenderung sama untuk seluruh konsentrasinya sehingga suhu tidak mempengaruhi tingkat toksisitas dan akumulasi konsentrasi logam berat namun hanya mempengaruhi pertumbuhan mikroalga saja.

4.1.2 Salinitas

Salinitas pada penelitian ini cenderung menurun nilainya seiring dengan peningkatan konsentrasi logam berat. Salinitas adalah salah satu parameter kimia yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga. Hasil pengukuran salinitas pada seluruh perlakuan dengan paparan logam berat Cd dan Cu disajikan pada Gambar 4.

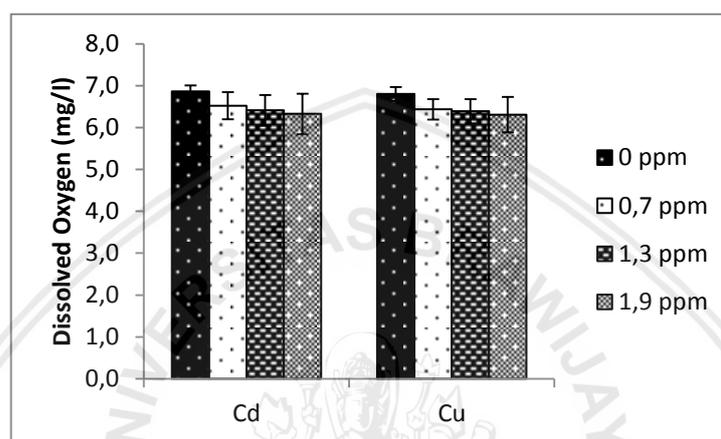


Gambar 4. Hasil Pengukuran Salinitas

Salinitas minimal untuk pertumbuhan mikroalga *Chaetocetos calcitrans* yaitu 6 ppt akan tetapi salinitas yang optimal untuk pertumbuhannya adalah 17-28 ppt (Manurung, 2008). Salinitas pada perlakuan logam berat Cd dan Cu masih dalam *range* yang mendukung pertumbuhan optimal untuk mikroalga *Chaetocetos calcitrans*. Salinitas pada paparan logam berat Cd memiliki rentang dari 26,45 – 27,09 ppt sedangkan paparan logam berat Cu memiliki rentang dari 26,89 – 27,20 ppt. Salinitas dengan nilai tertinggi paparan logam berat Cd dimiliki oleh konsentrasi paparan 1,3 ppm dan nilai terendah dimiliki oleh konsentrasi paparan 1,9 ppm. Salinitas dengan nilai tertinggi paparan logam berat Cu dimiliki oleh konsentrasi paparan 0 ppm dan nilai terendah dimiliki oleh konsentrasi paparan 1,3 ppm.

4.1.3 Dissolved Oxygen (DO)

Pengukuran kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) pada penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana nilai DO pada penelitian ini. DO adalah salah satu parameter lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga. Hasil pengukuran DO pada seluruh perlakuan dengan paparan logam berat Cd dan Cu disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengukuran Dissolved Oxygen (DO)

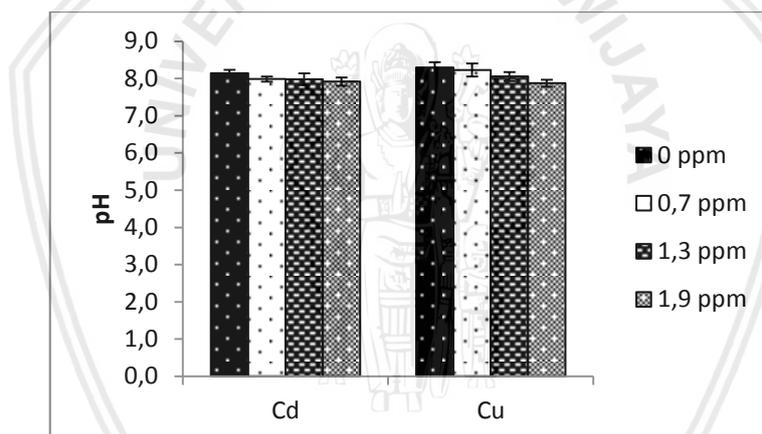
Kadar oksigen terlarut pada penelitian ini semakin menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi logam berat karena terjadi penurunan kepadatan yang lebih tinggi pada konsentrasi paparan logam berat yang lebih tinggi sehingga hanya ada sedikit mikroalga yang memproduksi oksigen. Menurut Salmin (2005), hasil difusi udara bebas dan hasil fotosintesis organisme hidup di dalam perairan merupakan sumber utama oksigen di suatu perairan. Oksigen terlarut dibutuhkan oleh organisme untuk bernapas, metabolisme, dan pertukaran zat sehingga dapat terbentuk energi untuk tumbuh dan berkembang biak. Kadar oksigen pada setiap perlakuan terbantu dengan adanya aerasi sehingga terjadi pergerakan air yang dapat mempertahankan atau bahkan menambah kadar oksigen.

Kadar oksigen terlarut pada paparan logam berat Cd memiliki rentang dari 6,33 – 6,86 mg/l sedangkan paparan logam berat Cu memiliki rentang dari 6,31 –

6,80 mg/l. Kadar oksigen terlarut dengan nilai tertinggi paparan logam berat Cd dimiliki oleh konsentrasi paparan 0 ppm dan nilai terendah dimiliki oleh konsentrasi paparan 1,9 ppm. Kadar oksigen terlarut dengan nilai tertinggi paparan logam berat Cu dimiliki oleh konsentrasi paparan 0 ppm dan nilai terendah dimiliki oleh konsentrasi paparan 1,9 ppm.

4.1.4 pH

Kondisi perairan yang terlalu basa atau terlalu asam akan mengganggu proses metabolisme dan respirasi sehingga membahayakan kehidupan organisme (Hamuna, 2018). Hasil pengukuran pH pada seluruh perlakuan dengan paparan logam berat Cd dan Cu disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Pengukuran pH

Nilai pH pada penelitian ini cenderung menurun seiring dengan naiknya konsentrasi paparan logam berat namun penurunannya sangat kecil sehingga tidak mempengaruhi toksisitas logam berat. Menurut Sarjono (2009), pH di perairan dapat mempengaruhi toksisitas logam berat yaitu semakin tinggi pH maka tingkat toksisitas logam beratnya semakin tinggi. Berdasarkan nilai baku mutu PP No. 82 Tahun 2001 nilai pH kedua paparan logam berat tergolong baik yaitu bahwa baku mutu kelas 3 yang peruntukannya untuk biota perairan memiliki kisaran pH antara 6-9.

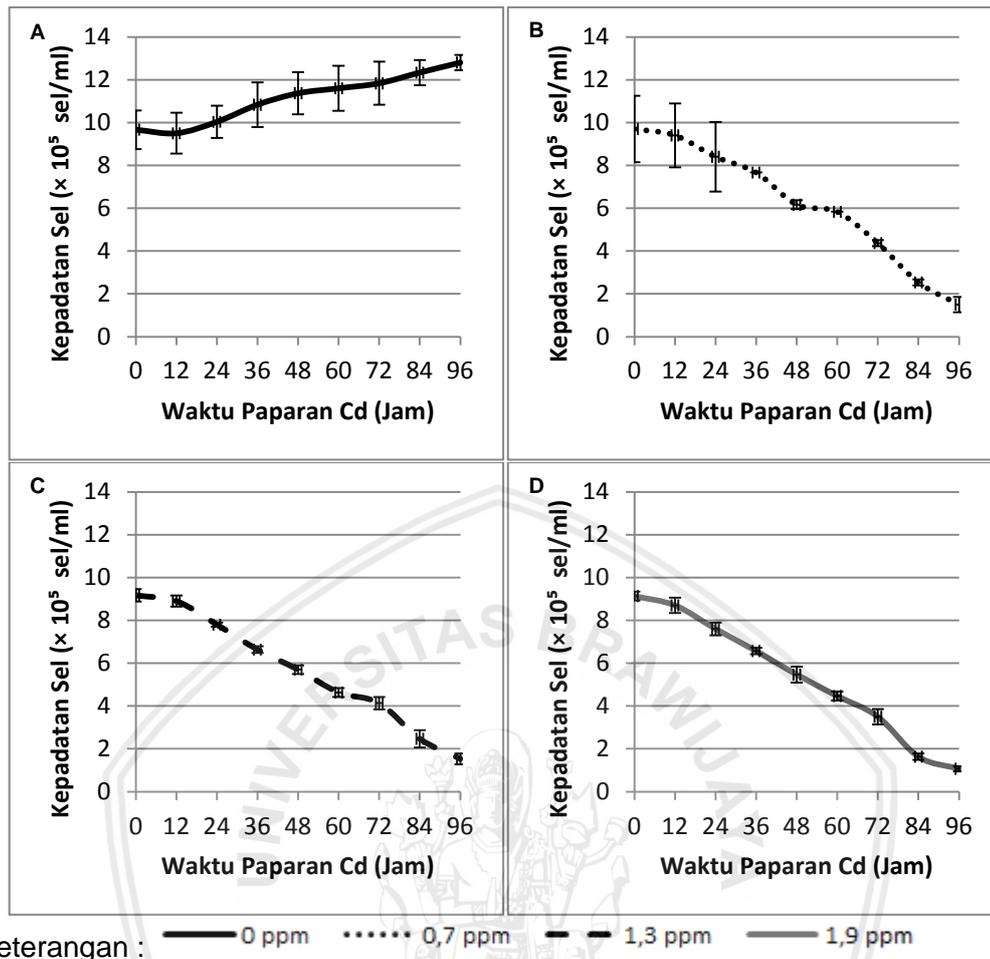
Nilai pH pada paparan logam berat Cd memiliki rentang dari 7,91 – 8,14 sedangkan paparan logam berat Cu memiliki rentang dari 7,87 – 8,30. Nilai pH tertinggi paparan logam berat Cd dimiliki oleh konsentrasi paparan 0 ppm dan nilai terendah dimiliki oleh konsentrasi paparan 1,9 ppm. Nilai pH tertinggi paparan logam berat Cu dimiliki oleh konsentrasi paparan 0 ppm dan nilai pH terendah dimiliki oleh konsentrasi paparan 1,9 ppm.

4.2 Monitoring Pertumbuhan Mikroalga

Monitoring pertumbuhan mikroalga dilakukan dengan cara menghitung kepadatan sel pada mikroskop. Dilakukan pengamatan pertumbuhan mikroalga untuk memonitoring tingkat penurunan sel mikroalga pada setiap konsentrasi paparan logam berat. Perhitungan kepadatan mikroalga setiap 12 jam dapat dilihat lebih lanjut pada Lampiran 1 dan Lampiran 2. Hasil monitoring pertumbuhan mikroalga dibedakan menjadi dua bahasan tersendiri yaitu pertumbuhan mikroalga paparan logam berat Cd dan logam berat Cu.

4.2.1 Paparan Logam Berat Cd

Hasil monitoring pertumbuhan mikroalga paparan logam berat Cd pada setiap konsentrasi paparan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Trend Kepadatan Paparan Cd Perlakuan (A) 0 ppm; (B) 0,7 ppm; (C) 1,3 ppm; dan (D) 1,9 ppm

Secara keseluruhan, pertumbuhan mikroalga paparan logam berat Cd dan Cu memiliki model yang sama yaitu trend kepadatan selnya menurun kecuali pada perlakuan 0 ppm/kontrol. Jam ke-12 paparan dapat dilihat bahwa terjadi sedikit penurunan kepada karena sedang terjadi fase adaptasi yaitu penyesuaian terhadap lingkungan yang baru. Pada perlakuan 0 ppm/kontrol mengalami fase log/eksponensial sampai pada akhir pengamatan, karena Rizky *et. al.* (2012) berpendapat bahwa fase hidup *Chaetoceros calcitrans* adalah 13 hari. Hari ke-9 adalah merupakan puncak fase eksponensial dari mikroalga ini sehingga pada perlakuan kontrol penelitian ini tidak terlihat keseluruhan fase karena penelitian dilakukan selama 4 hari (96 jam). Perlakuan dengan konsentrasi 0,7 ppm; 1,3

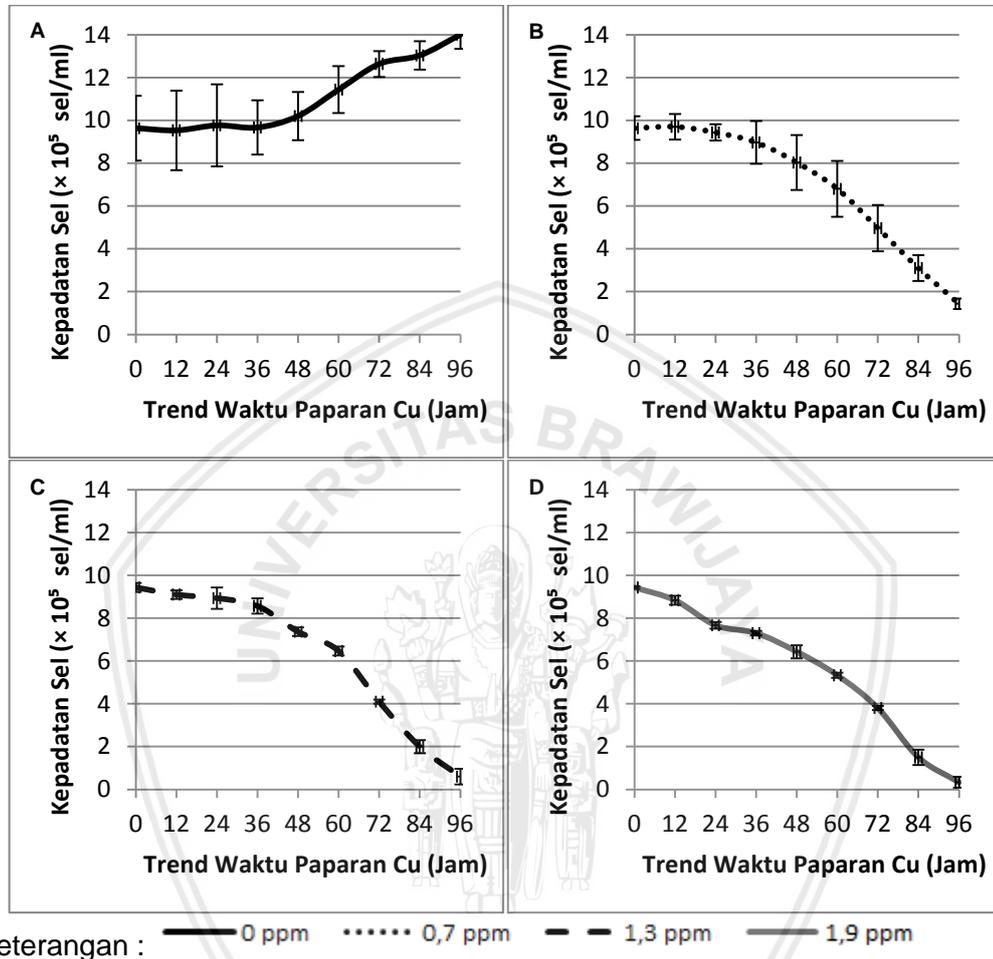
ppm dan 1,9 ppm paparan logam berat Cd ini langsung mengalami fase penurunan pertumbuhan mulai jam ke-24 kemudian berakhir pada fase kematian sel. Diasumsikan seluruh perlakuan paparan logam berat Cd kecuali perlakuan paparan konsentrasi 0 ppm (kontrol) tidak mengalami keseluruhan fase karena pertumbuhannya terhambat oleh logam berat Cd.

Nilai kepadatan mikroalga di awal dan di akhir pengamatan pada konsentrasi paparan 0,7 ppm menurun dari $9,70 \times 10^5$ sel/ml menjadi $1,50 \times 10^5$ sel/ml sedangkan pada konsentrasi paparan 1,3 ppm menurun dari $9,17 \times 10^5$ sel/ml menjadi $1,53 \times 10^5$ sel/ml dan pada konsentrasi paparan 1,9 ppm menurun dari $9,13 \times 10^5$ sel/ml menjadi $1,07 \times 10^5$ sel/ml. Logam berat Cd merupakan logam berat non esensial yang keberadaannya dalam makhluk hidup belum diketahui fungsinya.

Hasil monitoring kepadatan mikroalga *Chaetoceros calcitrans* pada penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi (2018), pada konsentrasi 0,7 ppm kepadatan sel menurun dari $9,13 \times 10^5$ sel/ml menjadi $1,71 \times 10^5$ sel/ml, sedangkan pada konsentrasi 1,3 ppm kepadatan sel menurun dari $8,98 \times 10^5$ sel/ml menjadi $1,53 \times 10^5$ sel/ml dan pada konsentrasi 1,9 ppm kepadatan sel menurun dari $9,07 \times 10^5$ sel/ml menjadi $1,25 \times 10^5$ sel/ml. Dari hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa paparan logam berat Cd mempengaruhi pertumbuhan sel *Chaetoceros calcitrans* dari awal paparan. Pengaruh yang diberikan oleh logam berat Cd ini semakin besar seiring dengan bertambahnya konsentrasi.

4.2.2 Paparan Logam Berat Cu

Pada Gambar 8 dapat dilihat hasil monitoring pertumbuhan mikroalga paparan logam berat Cu pada setiap konsentrasi paparan.



Gambar 8. Grafik Trend Kepadatan Paparan Cu Perlakuan (A) 0 ppm; (B) 0,7 ppm; (C) 1,3 ppm; dan (D) 1,9 ppm

Fase lag/adaptasi pada perlakuan dengan konsentrasi 0 ppm (kontrol), 0,7 ppm dan 1,3 ppm paparan logam berat Cu cenderung berlangsung lebih lama yaitu sekitar 36 jam karena penurunan kepadatan pada pengamatan jam ke-12, 24, dan 36 terlihat masih sangat sedikit sedangkan perlakuan dengan konsentrasi 1,9 ppm mengalami fase adaptasi sampai jam ke-12 saja. Penurunan kepadatan pada perlakuan dengan konsentrasi 0,7 ppm dan 1,3 ppm terlihat cukup banyak mulai jam ke-36, sedangkan penurunan kepadatan

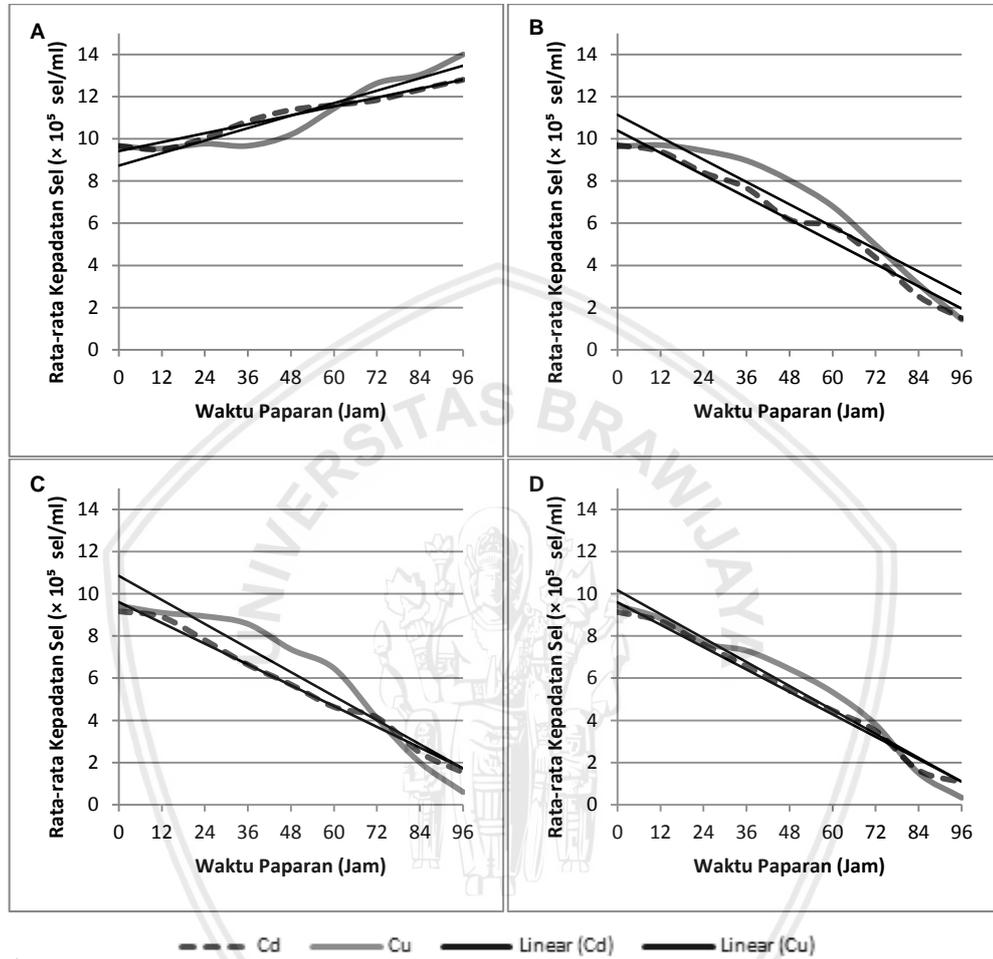
konsentrasi paparan 1,9 ppm sudah terlihat banyak mulai jam ke-12. Sama seperti pada paparan logam berat Cd, paparan dengan konsentrasi 0 ppm mengalami fase log/eksponensial sampai pada akhir pengamatan sedangkan Perlakuan dengan konsentrasi paparan perlakuan dengan konsentrasi 0,7 ppm; 1,3 ppm dan 1,9 ppm langsung mengalami fase penurunan pertumbuhan kemudian berakhir pada fase kematian sel. Diasumsikan seluruh perlakuan paparan logam berat Cu kecuali perlakuan paparan konsentrasi 0 ppm (kontrol) tidak mengalami keseluruhan fase karena pertumbuhannya terhambat oleh logam berat Cu

Nilai kepadatan mikroalga di awal dan di akhir pengamatan pada konsentrasi paparan 0,7 ppm menurun dari $9,63 \times 10^5$ sel/ml menjadi $1,43 \times 10^5$ sel/ml sedangkan pada konsentrasi paparan 1,3 ppm menurun dari $9,43 \times 10^5$ sel/ml menjadi $0,60 \times 10^5$ sel/ml dan pada konsentrasi paparan 1,9 ppm menurun dari $9,43 \times 10^5$ sel/ml menjadi $0,33 \times 10^5$ sel/ml. Nilai kepadatan dengan konsentrasi 1,9 ppm pada jam ke 96 paparan logam berat Cu memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan paparan logam berat Cd. Logam berat Cu termasuk logam berat esensial yang keberadaannya dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam jumlah yang sangat kecil. Logam berat esensial dalam jumlah banyak justru memiliki efek yang lebih toksik dibandingkan dengan logam berat non esensial.

Hasil monitoring kepadatan mikroalga *Chaetoceros calcitrans* pada penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi (2018), pada konsentrasi 0,7 ppm kepadatan sel menurun dari $9,4 \times 10^5$ sel/ml menjadi $1,83 \times 10^5$ sel/ml, sedangkan pada konsentrasi 1,3 ppm kepadatan sel menurun dari $8,98 \times 10^5$ sel/ml menjadi $0,73 \times 10^5$ sel/ml dan pada konsentrasi 1,9 pm kepadatan sel menurun dari $9,2 \times 10^5$ sel/ml menjadi $0,26 \times 10^5$ sel/ml.

4.2.3 Analisis Pertumbuhan Sel

Grafik pertumbuhan sel paparan logam berat Cd dan Cu masing-masing konsentrasi paparan dapat dilihat pada Gambar 9 dan hasil analisisnya dapat dilihat pada Tabel 6.



Keterangan :

Gambar 9. Grafik Kepadatan Paparan Cd dan Cu Perlakuan (A) 0 ppm; (B) 0,7 ppm; (C) 1,3 ppm; dan (D) 1,9 ppm

Tabel 6. Nilai Regresi Linier Kepadatan Sel

Logam Berat	Konsentrasi	$y=ax+b$	R^2
Cd	0 ppm	$0,0493x + 8,7356$	0,8787
	0,7 ppm	$-0,0885x + 11,1430$	0,8974
	1,3 ppm	$-0,0950x + 10,8450$	0,8992
	1,9 ppm	$-0,0946x + 10,1660$	0,9559
Cu	0 ppm	$0,0353x + 9,4141$	0,9693
	0,7 ppm	$-0,0879x + 10,3940$	0,9748
	1,3 ppm	$-0,0822x + 9,6074$	0,9900
	1,9 ppm	$-0,0886x + 9,5993$	0,9900

Nilai R^2 menunjukkan persentase nilai variabel y yang dipengaruhi oleh nilai variabel x . Nilai a pada persamaan $y=ax+b$ dapat menunjukkan apakah nilai variabel y dipengaruhi variabel x berbanding lurus (nilai a positif/+) atau terbalik (nilai a negatif/-). Dilihat dari nilai R^2 pada Tabel 6 secara keseluruhan, secara umum nilai kepadatan dipengaruhi oleh waktu paparan berkisar antara 0,8787-0,9900 atau sebesar 87,87%-99,00% dan dipengaruhi oleh variabel lain selain waktu paparan sebesar 1,00%-12,13%.

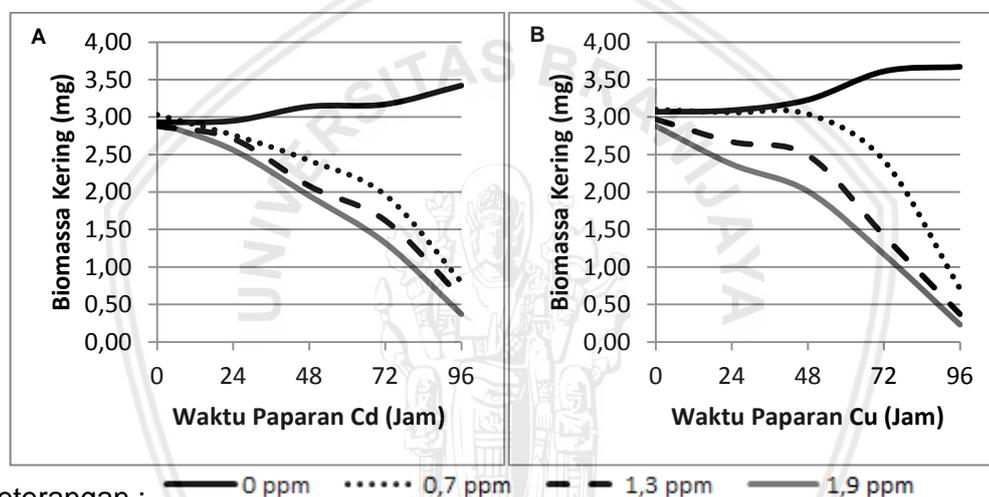
Nilai a pada perlakuan kontrol bernilai positif menunjukkan bahwa nilai variabel y dipengaruhi variabel x berbanding lurus, yaitu semakin tinggi kepadatan maka semakin lama waktu paparannya. Nilai a pada perlakuan konsentrasi paparan 0,7 ppm; 1,3 ppm dan 1,9 ppm logam berat Cd dan Cu bernilai negatif menunjukkan bahwa nilai variabel y dipengaruhi variabel x berbanding terbalik, yaitu semakin rendah kepadatan maka semakin lama waktu paparannya.

4.3 Analisis Perubahan Morfologi Sel

Analisis perubahan morfologi sel dilakukan untuk melihat apakah terjadi perubahan morfologi pada mikroalga setelah dilakukan uji bioremediasi. Perubahan morfologi mikroalga pada penelitian ini dilihat dengan menghitung berat sel kering dan mengamati bentuk serta panjang sel.

4.3.1 Hasil Pengukuran Biomassa Kering

Hasil pengukuran biomassa kering paparan logam berat Cd dan Cu disajikan pada Gambar 10.



Keterangan : — 0 ppm 0,7 ppm - - - 1,3 ppm - · - 1,9 ppm

Gambar 10. Grafik Perubahan Biomassa Kering Paparan Logam Berat (A) Cd dan (B) Cu

Secara keseluruhan, perubahan biomassa kering paparan logam berat Cd dan Cu memiliki model yang sama yaitu trend biomassa keringnya menurun kecuali pada perlakuan 0 ppm (kontrol). Diasumsikan seluruh perlakuan paparan logam berat Cd dan Cu kecuali perlakuan paparan konsentrasi 0 ppm (kontrol) mengalami penurunan biomassa kering karena pertumbuhannya terhambat oleh logam berat Cd dan Cu. Perlakuan dengan konsentrasi paparan 0 ppm (kontrol) mengalami kenaikan biomassa kering karena tidak ada yang menghambat pertumbuhannya.

Nilai biomassa kering tertinggi pada paparan logam berat Cd dimiliki oleh

perlakuan paparan konsentrasi 0 ppm (kontrol) pada jam ke 96 yaitu sebesar 3,42 mg dan nilai biomassa kering terendah pada paparan logam berat Cd dimiliki oleh perlakuan paparan konsentrasi 1,9 ppm pada jam ke 96 yaitu sebesar 0,37 mg. Sedangkan nilai biomassa kering tertinggi pada paparan logam berat Cu dimiliki oleh perlakuan paparan konsentrasi 0 ppm (kontrol) pada jam ke 96 yaitu sebesar 3,67 mg dan nilai biomassa kering terendah pada paparan logam berat Cu dimiliki oleh perlakuan paparan konsentrasi 1,9 ppm pada jam ke 96 yaitu sebesar 0,23 mg. Hasil pengukuran biomassa kering *Chaetoceros gracilis* pada penelitian Aprimara (2010), mikroalga memiliki nilai biomassa kering tertinggi yaitu 0,49 gram dan nilai biomassa terendah yaitu 0,11 gram yang berasal dari pengukuran 50 ml sampel mikroalga.

Hasil analisis *Two-way* ANOVA pada biomassa kering paparan logam berat Cd dan Cu disajikan pada Tabel 7 dan dapat dilihat lebih lanjut pada Lampiran 9 dan Lampiran 10. H_{01} pada analisis ini adalah “ada perbedaan nilai biomassa kering berdasarkan waktu paparan logam berat” sedangkan H_{02} pada analisis ini adalah “ada perbedaan nilai biomassa kering berdasarkan konsentrasi paparan logam berat” dan H_{03} pada analisis ini adalah “ada interaksi waktu paparan dengan konsentrasi paparan dalam menentukan nilai biomassa kering”.

Tabel 7. Hasil Analisis *Two-way* ANOVA Biomassa Kering

Logam Berat	Source	Signifikansi
Cd	Waktu	0,000
	Konsentrasi	0,000
	Waktu*Konsentrasi	0,000
Cu	Waktu	0,000
	Konsentrasi	0,000
	Waktu*Konsentrasi	0,000

Pengujian hipotesis nilai biomassa kering dalam uji *Two-way ANOVA* paparan logam berat Cd adalah :

- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, sehingga hipotesis yang menyatakan bahwa “ada perbedaan nilai biomassa kering berdasarkan waktu paparan logam berat” diterima.
- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, sehingga hipotesis yang menyatakan bahwa “ada perbedaan hasil biomassa kering berdasarkan konsentrasi paparan logam berat” diterima.
- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, maka hipotesis yang menyatakan bahwa “ada interaksi waktu paparan dengan konsentrasi paparan dalam menentukan nilai biomassa kering” paparan logam berat Cd diterima.

Pengujian hipotesis nilai biomassa kering dalam uji *Two-way ANOVA* paparan logam berat Cu adalah :

- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, sehingga hipotesis yang menyatakan bahwa “ada perbedaan nilai biomassa kering berdasarkan waktu paparan logam berat” diterima.
- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, sehingga hipotesis yang menyatakan bahwa “ada perbedaan nilai biomassa kering berdasarkan konsentrasi paparan logam berat” diterima.
- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, maka hipotesis yang menyatakan bahwa “ada interaksi waktu paparan dengan konsentrasi paparan dalam menentukan nilai biomassa kering” paparan logam berat Cu diterima.

Hasil analisis Uji BNT pada biomassa kering paparan logam berat Cd dan Cu disajikan pada Tabel 8 - Tabel 11 serta dapat dilihat lebih lanjut pada Lampiran 9 dan Lampiran 10.

Tabel 8. Hasil Uji BNT Biomassa Kering Waktu Paparan Logam Berat Cd

Duncan ^{a,b}	Waktu	N	Subset			
			1	2	3	4
	96 jam	8	16.750			
	72 jam	8		20.175		
	48 jam	8			23.975	
	24 jam	8				27.450
	0 jam	8				29.425
	Sig.		1.000	1.000	1.000	.159

Berdasarkan Tabel 8, dapat diketahui bahwa hasil dari Uji BNT biomassa kering untuk waktu paparan logam berat Cd adalah :

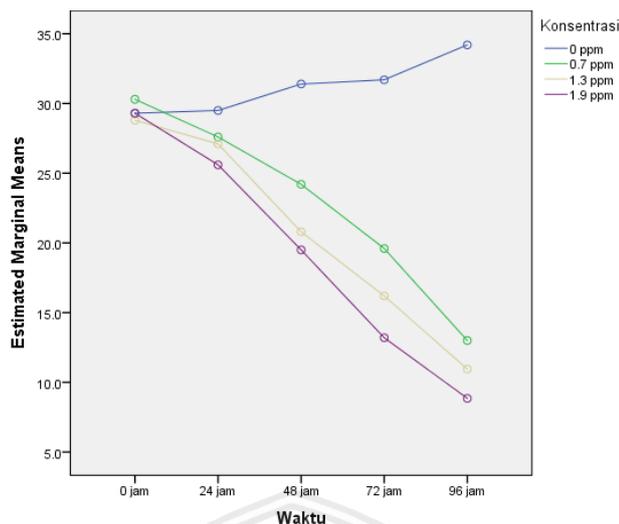
- Waktu 0 dan 24 jam tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil biomassa kering paparan logam berat Cd.
- Waktu 48, 72 dan 96 jam berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil biomassa kering paparan logam berat Cd.

Tabel 9. Hasil Uji BNT Biomassa Kering Konsentrasi Paparan Logam Berat Cd

Duncan ^{a,b}	Konsentrasi	N	Subset		
			1	2	3
	1.9 ppm	10	19.290		
	1.3 ppm	10	20.770	20.770	
	0.7 ppm	10		22.940	
	0 ppm	10			31.220
	Sig.		.235	.088	1.000

Berdasarkan Tabel 9, dapat diketahui bahwa hasil dari Uji BNT biomassa kering untuk konsentrasi paparan logam berat Cd adalah :

- Konsentrasi 0 ppm berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil biomassa kering paparan logam berat Cd.
- Konsentrasi 0,7 dan 1,3 ppm tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil biomassa kering paparan logam berat Cd.
- Konsentrasi 1,3 dan 1,9 ppm tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil biomassa kering paparan logam berat Cd.



Gambar 11. Interaksi Antar Perlakuan (Konsentrasi dan Waktu) Paparan Logam Berat Cd Terhadap Biomassa Kering

Berdasarkan Gambar 11 dapat diketahui dari interaksi antar perlakuan (konsentrasi dan waktu) paparan logam berat Cd bahwa :

- Konsentrasi paparan yang paling mempengaruhi nilai biomassa kering mikroalga adalah konsentrasi 0,7 ppm
- Waktu yang paling mempengaruhi nilai biomassa kering mikroalga adalah waktu 96 jam.

Tabel 10. Hasil Uji BNT Biomassa Kering Waktu Paparan Logam Berat Cu

Duncan ^{a,b}	Waktu	N	Subset		
			1	2	3
	96 jam	8	21.225		
	72 jam	8	22.800		
	48 jam	8		26.925	
	24 jam	8		27.975	
	0 jam	8			30.050
	Sig.		.060	.199	1.000

Berdasarkan Tabel 10, dapat diketahui bahwa hasil dari Uji BNT biomassa kering untuk waktu paparan logam berat Cu adalah :



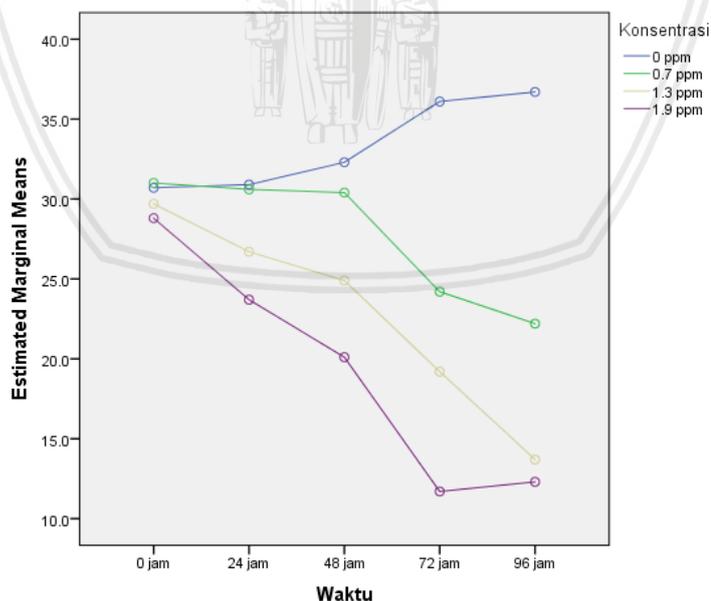
- Waktu 24 dan 48 jam tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil biomassa kering paparan logam berat Cu.
- Waktu 72 dan 96 jam tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil biomassa kering paparan logam berat Cu.

Tabel 11. Hasil Uji BNT Biomassa Kering Konsentrasi Paparan Logam Berat Cu

Duncan ^{a,b}	Konsentrasi	N	Subset			
			1	2	3	4
	1.9 ppm	10	19.320			
	1.3 ppm	10		22.840		
	0.7 ppm	10			27.680	
	0 ppm	10				33.340
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Berdasarkan Tabel 11, dapat diketahui bahwa hasil dari Uji BNT biomassa kering untuk konsentrasi paparan logam berat Cu adalah :

- Konsentrasi 0; 0,7; 1,3; dan 1,9 ppm berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil biomassa kering paparan logam berat Cu.



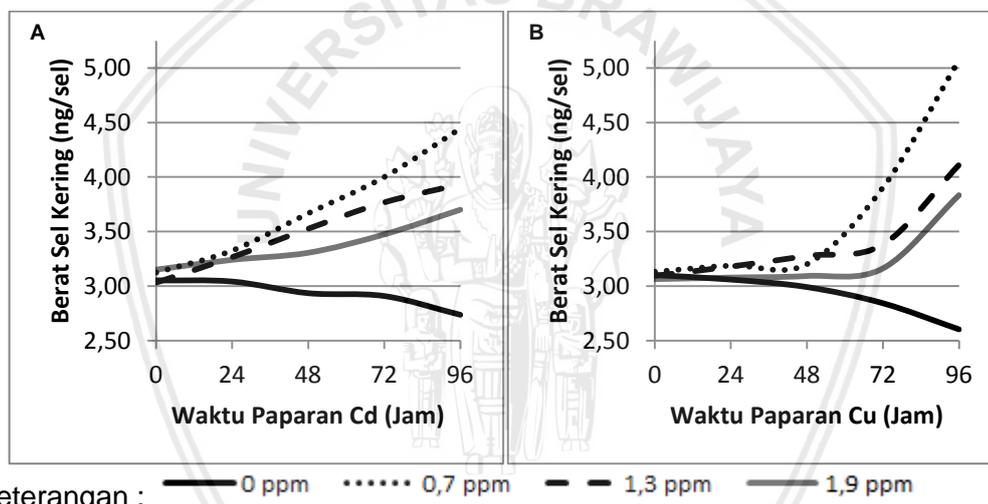
Gambar 12. Interaksi Antar Perlakuan (Konsentrasi dan Waktu) Paparan Logam Berat Cu Terhadap Biomassa Kering

Berdasarkan Gambar 12 dapat diketahui dari interaksi antar perlakuan (konsentrasi dan waktu) paparan logam berat Cu bahwa :

- Konsentrasi paparan yang paling mempengaruhi nilai biomassa kering mikroalga adalah konsentrasi 0,7 ppm
- Waktu yang paling mempengaruhi nilai biomassa kering mikroalga adalah waktu 96 jam.

4.3.2 Hasil Perhitungan Berat Sel Kering

Hasil perhitungan berat sel kering paparan logam berat Cd dan Cu disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Perubahan Berat Sel Paparan Logam Berat (A) Cd dan (B) Cu

Perubahan berat paparan logam berat Cd dan Cu secara keseluruhan memiliki model yang sama yaitu trend berat selnya naik kecuali pada perlakuan 0 ppm (kontrol). Diasumsikan seluruh perlakuan paparan logam berat Cd dan Cu kecuali perlakuan paparan konsentrasi 0 ppm (kontrol) mengalami kenaikan berat sel karena telah menyerap logam berat Cd dan Cu. Perlakuan dengan konsentrasi paparan 0 ppm (kontrol) mengalami penurunan nilai berat sel namun seperti pada pembahasan monitoring pertumbuhan mikroalga diketahui bahwa kepadatan selnya bertambah.

Nilai berat sel kering tertinggi pada paparan logam berat Cd dimiliki oleh perlakuan paparan konsentrasi 0,7 ppm pada jam ke 96 yaitu sebesar 4,44 ng/sel dan nilai berat sel kering terendah pada paparan logam berat Cd dimiliki oleh perlakuan paparan konsentrasi 0 ppm (kontrol) pada jam ke 96 yaitu sebesar 2,74 ng/sel. Sedangkan nilai berat sel kering tertinggi pada paparan logam berat Cu dimiliki oleh perlakuan paparan konsentrasi 0,7 ppm pada jam ke 96 yaitu sebesar 5,07 ng/sel dan nilai berat sel kering terendah pada paparan logam berat Cu dimiliki oleh perlakuan paparan konsentrasi 1,9 ppm pada jam ke 96 yaitu sebesar 2,60 ng/sel. Perlakuan paparan konsentrasi 0,7 ppm cenderung memiliki nilai berat sel terbesar dibandingkan dengan konsentrasi lainnya karena menurut Pratiwi (2018), mikroalga menyerap lebih banyak logam berat dengan paparan konsentrasi 0,7 ppm. Salah satu hasil pengukuran berat sel kering mikroalga *Chaetoceros gracilis* pada penelitian Aprimara (2010) adalah 5,6 µg.

Hasil analisis *Two-way ANOVA* pada berat sel kering paparan logam berat Cd dan Cu disajikan pada Tabel 8 dan dapat dilihat lebih lanjut pada Lampiran 11 dan Lampiran 12. H_{01} pada analisis ini adalah “ada perbedaan nilai berat sel kering berdasarkan waktu paparan logam berat” sedangkan H_{02} pada analisis ini adalah “ada perbedaan nilai berat sel kering berdasarkan konsentrasi paparan logam berat” dan H_{03} pada analisis ini adalah “ada interaksi waktu paparan dengan konsentrasi paparan dalam menentukan nilai berat sel kering”.

Tabel 12. Hasil Analisis *Two-way ANOVA* Berat Sel Kering

Logam Berat	Source	Signifikansi
Cd	Waktu	0,000
	Konsentrasi	0,005
	Waktu*Konsentrasi	0,576
Cu	Waktu	0,000
	Konsentrasi	0,000
	Waktu*Konsentrasi	0,000

Pengujian hipotesis nilai berat sel dalam uji *Two-way ANOVA* paparan logam berat Cd adalah :

- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, sehingga hipotesis yang menyatakan bahwa “ada perbedaan nilai berat sel kering berdasarkan waktu paparan logam berat” diterima.
- Nilai signifikansi sebesar $0,05 < 0,05$, sehingga hipotesis yang menyatakan bahwa “ada perbedaan hasil berat sel kering berdasarkan konsentrasi paparan logam berat” diterima.
- Nilai signifikansi sebesar $0,576 > 0,05$, maka hipotesis yang menyatakan bahwa “ada interaksi waktu paparan dengan konsentrasi paparan dalam menentukan nilai berat sel kering” paparan logam berat Cd ditolak.

Pengujian hipotesis nilai berat sel dalam uji *Two-way ANOVA* paparan logam berat Cu adalah :

- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, sehingga hipotesis yang menyatakan bahwa “ada perbedaan nilai berat sel kering berdasarkan waktu paparan logam berat” diterima.
- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, sehingga hipotesis yang menyatakan bahwa “ada perbedaan hasil berat sel kering berdasarkan konsentrasi paparan logam berat” diterima.
- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, maka hipotesis yang menyatakan bahwa “ada interaksi waktu paparan dengan konsentrasi paparan dalam menentukan nilai berat sel kering” paparan logam berat Cu diterima.

Hasil analisis Uji BNT pada berat sel kering paparan logam berat Cd dan Cu disajikan pada Tabel 13 - Tabel 16 serta dapat dilihat lebih lanjut pada Lampiran 11 dan Lampiran 12.

Tabel 13. Hasil Uji BNT Berat Sel Kering Waktu Paparan Logam Berat Cd

Duncan ^{a,b}	Waktu	N	Subset		
			1	2	3
	0 jam	8	30.875		
	48 jam	8		39.513	
	72 jam	8		40.813	
	24 jam	8		41.325	
	96 jam	8			63.100
	Sig.		1.000	.567	1.000

Berdasarkan Tabel 13, dapat diketahui bahwa hasil dari Uji BNT berat sel kering untuk waktu paparan logam berat Cd adalah :

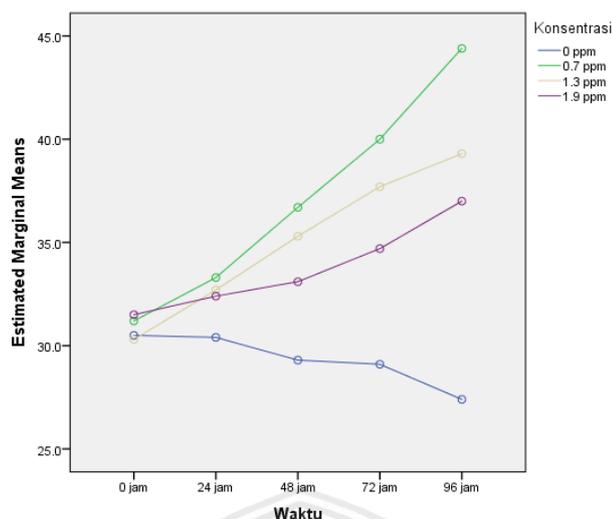
- Waktu 0 jam berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil berat sel kering paparan logam berat Cd.
- Waktu 24, 48, dan 72 jam tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil berat sel kering paparan logam berat Cd.
- Waktu 96 jam berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil berat sel kering paparan logam berat Cd.

Tabel 14. Hasil Uji BNT Berat Sel Kering Konsentrasi Paparan Logam Berat Cd

Duncan ^{a,b}	Konsentrasi	N	Subset	
			1	2
	0 ppm	10	36.980	
	1.9 ppm	10	40.140	
	1.3 ppm	10		46.440
	0.7 ppm	10		48.940
	Sig.		.243	.352

Berdasarkan Tabel 14, dapat diketahui bahwa hasil dari Uji BNT berat sel kering untuk konsentrasi paparan logam berat Cd adalah :

- Konsentrasi 0 dan 0,7 ppm tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil berat sel kering paparan logam berat Cd.
- Konsentrasi 1,3 dan 1,9 ppm tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil berat sel kering paparan logam berat Cd.



Gambar 14. Interaksi Antar Perlakuan (Konsentrasi dan Waktu) Paparan Logam Berat Cd Terhadap Berat Sel Kering

Berdasarkan Gambar 14 dapat diketahui dari interaksi antar perlakuan (konsentrasi dan waktu) paparan logam berat Cd bahwa :

- Konsentrasi paparan yang paling mempengaruhi nilai berat sel kering mikroalga adalah konsentrasi 0,7 ppm.
- Waktu yang paling mempengaruhi nilai berat sel kering mikroalga adalah waktu 96 jam.

Tabel 15. Hasil Uji BNT Berat Sel Kering Waktu Paparan Logam Berat Cu

Duncan ^{a,b}	Waktu	N	Substet				
			1	2	3	4	5
	0 jam	8	30.9500				
	24 jam	8		36.6375			
	48 jam	8			41.9000		
	72 jam	8				48.2000	
	96 jam	8					59.0250
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Berdasarkan Tabel 15, dapat diketahui bahwa hasil dari Uji BNT berat sel kering untuk waktu paparan logam berat Cu adalah :

- Waktu 0, 24, 48, 72, dan 96 jam berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil berat sel kering paparan logam berat Cu.

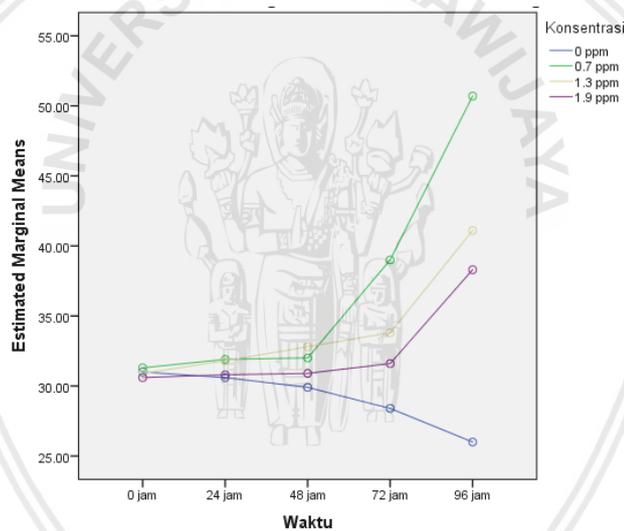


Tabel 16. Hasil Uji BNT Berat Sel Kering Konsentrasi Paparan Logam Berat Cu

	Konsentrasi	N	Subset			
			1	2	3	4
Duncan ^{a,b}	1.9 ppm	10	38.9400			
	1.3 ppm	10		42.5200		
	0.7 ppm	10			44.2800	
	0 ppm	10				47.6300
	Sig.			1.000	1.000	1.000

Berdasarkan Tabel 16, dapat diketahui bahwa hasil dari Uji BNT berat sel kering untuk konsentrasi paparan logam berat Cu adalah :

- Konsentrasi 0; 0,7; 1,3; dan 1,9 ppm berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil berat sel kering paparan logam berat Cu.



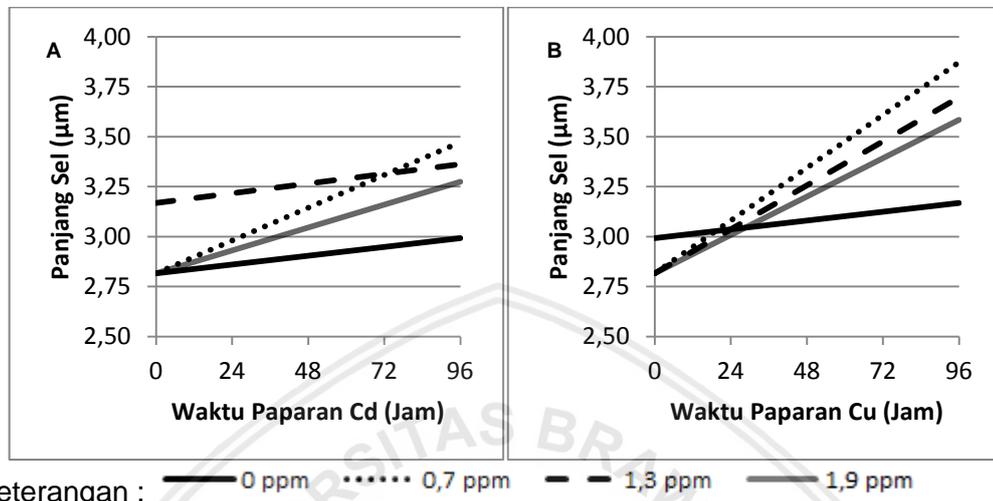
Gambar 15. Interaksi Antar Perlakuan (Konsentrasi dan Waktu) Paparan Logam Berat Cu Terhadap Berat Sel Kering

Berdasarkan Gambar 15 dapat diketahui dari interaksi antar perlakuan (konsentrasi dan waktu) paparan logam berat Cu bahwa :

- Konsentrasi paparan yang paling mempengaruhi nilai berat sel kering mikroalga adalah konsentrasi 0,7 ppm.
- Waktu yang paling mempengaruhi nilai berat sel kering mikroalga adalah waktu 96 jam.

4.3.3 Hasil Pengamatan Panjang Sel

Grafik pengamatan panjang sel disajikan pada Gambar 16 dan lebih lanjut dapat dilihat pada Lampiran 7 dan Lampiran 8.



Keterangan : — 0 ppm 0,7 ppm - - - 1,3 ppm - · - 1,9 ppm

Gambar 16. Grafik Perubahan Panjang Sel Paparan Logam Berat (A) Cd dan (B) Cu

Seluruh perlakuan mengalami penambahan panjang sel di akhir pengamatan. Begitu juga dengan perlakuan kontrol mengalami penambahan panjang sel namun tidak sebanyak konsentrasi lain. Penambahan panjang sel terbesar terjadi pada paparan dengan konsentrasi 0,7 ppm logam berat Cd maupun Cu. Panjang sel pada jam ke-0 konsentrasi paparan 0,7 ppm logam berat Cd mengalami peningkatan panjang sel sebanyak 1,056 μm yaitu dari 2,992 μm menjadi 3,472 μm sedangkan pada paparan logam berat Cu mengalami peningkatan panjang sel sebanyak 656 μm yaitu dari 2,816 μm menjadi 3,972 μm . Menurut Romimohtarto (2004), ukuran dari mikroalga memiliki ukuran dengan diameter yang berkisar antara 3-30 μm . Menurut Araujo dan Gracia (2005), kisaran ukuran *Chaetoceros calcitrans* pada umumnya yaitu 2-20 μm .

Hasil analisis *Two-way* ANOVA pada berat sel kering paparan logam berat Cd dan Cu disajikan pada Tabel 9 dan dapat dilihat lebih lanjut pada Lampiran

13 dan Lampiran 14. H_{01} pada analisis ini adalah “ada perbedaan panjang sel berdasarkan waktu paparan logam berat” sedangkan H_{02} pada analisis ini adalah “ada perbedaan panjang sel berdasarkan konsentrasi paparan logam berat” dan H_{03} pada analisis ini adalah “ada interaksi waktu paparan dengan konsentrasi paparan dalam menentukan panjang sel”.

Tabel 17. Hasil Analisis *Two-way* ANOVA Panjang Sel

Logam Berat	Source	Signifikansi
Cd	Waktu	0,000
	Konsentrasi	0,272
	Waktu*Konsentrasi	0,271
Cu	Waktu	0,000
	Konsentrasi	0,000
	Waktu*Konsentrasi	0,002

Pengujian hipotesis panjang sel dalam uji *Two-way* ANOVA paparan logam berat Cd adalah :

- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, sehingga hipotesis yang menyatakan bahwa “ada perbedaan nilai panjang sel berdasarkan waktu paparan logam berat” diterima.
- Nilai signifikansi sebesar $0,272 > 0,05$, sehingga hipotesis yang menyatakan bahwa “ada perbedaan nilai panjang sel berdasarkan konsentrasi paparan logam berat” ditolak.
- Nilai signifikansi sebesar $0,271 > 0,05$, maka hipotesis yang menyatakan bahwa “ada interaksi waktu paparan dengan konsentrasi paparan dalam menentukan nilai panjang sel” paparan logam berat Cd ditolak.

Pengujian hipotesis panjang sel dalam uji *Two-way* ANOVA paparan logam berat Cu adalah :

- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, sehingga hipotesis yang menyatakan bahwa “ada perbedaan nilai panjang sel berdasarkan waktu paparan logam berat” diterima.

- Nilai signifikansi sebesar $0,00 < 0,05$, sehingga hipotesis yang menyatakan bahwa “ada perbedaan nilai panjang sel berdasarkan konsentrasi paparan logam berat” diterima.
- Nilai signifikansi sebesar $0,002 < 0,05$, maka hipotesis yang menyatakan bahwa “ada interaksi waktu paparan dengan konsentrasi paparan dalam menentukan nilai panjang sel” paparan logam berat Cu diterima.

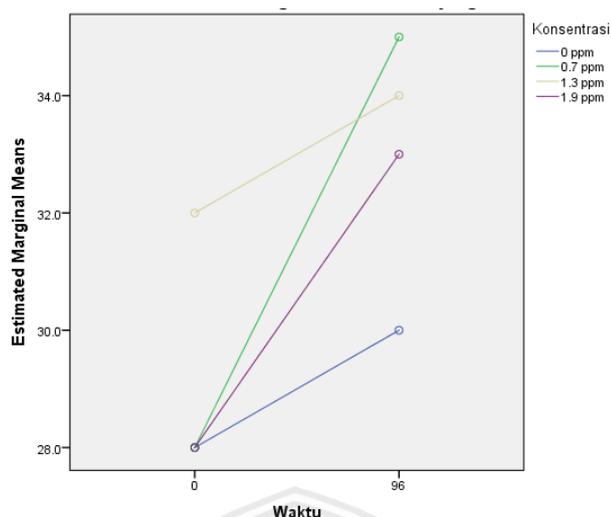
Hasil analisis Uji BNT pada berat sel kering paparan logam berat Cd dan Cu disajikan pada Tabel 18 - Tabel 21 serta dapat dilihat lebih lanjut pada Lampiran 11 dan Lampiran 12.

Tabel 18. Hasil Uji BNT Panjang Sel Waktu Paparan Logam Berat Cd

	Waktu	N	Subset	
			1	2
Duncan ^{a,b}	96	8	28.250	
	0	8	33.375	33.375
	24	8	33.375	33.375
	48	8	33.375	33.375
	72	8		38.500
	Sig.		.144	.144

Berdasarkan Tabel 18, dapat diketahui bahwa hasil dari Uji BNT panjang sel untuk waktu paparan logam berat Cd adalah :

- Waktu 0, 24, 48, dan 96 jam tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil panjang sel paparan logam berat Cd.
- Waktu 0, 24, 48, dan 72 jam tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil panjang sel paparan logam berat Cd.



Gambar 17. Interaksi Antar Perlakuan (Konsentrasi dan Waktu) Paparan Logam Berat Cd Terhadap Panjang Sel

Berdasarkan Gambar 17 dapat diketahui dari interaksi antar perlakuan (konsentrasi dan waktu) paparan logam berat Cd bahwa :

- Waktu yang paling mempengaruhi nilai panjang sel mikroalga adalah waktu 96 jam.

Tabel 19. Hasil Uji BNT Panjang Sel Waktu Paparan Logam Berat Cu

Duncan ^{a,b}	Waktu	N	Subset	
			1	2
	96	8	28.250	
	24	8	33.625	33.625
	0	8	33.625	33.625
	48	8	33.625	33.625
	72	8		39.000
	Sig.		.162	.162

Berdasarkan Tabel 19, dapat diketahui bahwa hasil dari Uji BNT panjang sel untuk waktu paparan logam berat Cu adalah :

- Waktu 0 dan 24 jam tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil panjang sel paparan logam berat Cu.
- Waktu 48, 72 dan 96 jam berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil panjang sel paparan logam berat Cu.

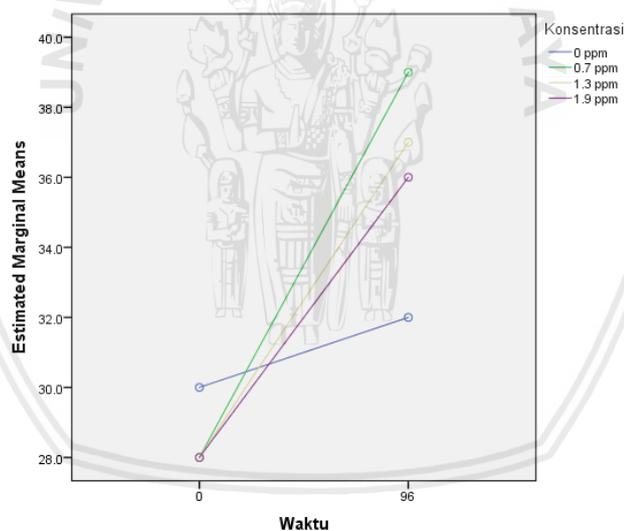


Tabel 20. Hasil Uji BNT Panjang Sel Konsentrasi Paparan Logam Berat Cu

	Konsentrasi	N	Subset	
			1	2
Duncan ^{a,b}	1.9 ppm	10	29.000	
	1.3 ppm	10	33.000	33.000
	0.7 ppm	10	35.500	35.500
	0 ppm	10		37.000
	Sig.			.055

Berdasarkan Tabel 20, dapat diketahui bahwa hasil dari Uji BNT panjang sel untuk konsentrasi paparan logam berat Cu adalah :

- Konsentrasi 0,7 dan 1,3 ppm tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil panjang sel paparan logam berat Cu.
- Konsentrasi 1,3 dan 1,9 ppm tidak berbeda nyata untuk mempengaruhi hasil panjang sel paparan logam berat Cu.



Gambar 18. Interaksi Antar Perlakuan (Konsentrasi dan Waktu) Paparan Logam Berat Cu Terhadap Panjang Sel

Berdasarkan Gambar 18 dapat diketahui dari interaksi antar perlakuan (konsentrasi dan waktu) paparan logam berat Cu bahwa :

- Konsentrasi paparan yang paling mempengaruhi nilai panjang sel mikroalga adalah konsentrasi 0,7 ppm.
- Waktu yang paling mempengaruhi nilai panjang sel mikroalga adalah waktu 96 jam.



V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Studi respon mikroalga *Chaetoceros calcitrans* sebagai agen bioremediasi logam berat ini mendapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Terjadi penurunan kepadatan sel mikroalga *Chaetoceros calcitrans* pada konsentrasi paparan 0,7 ppm; 1,3 ppm dan 1,9 ppm namun terjadi peningkatan kepadatan sel pada paparan dengan konsentrasi 0 ppm (kontrol) baik pada paparan logam berat Cd dan Cu.
2. Di akhir paparan logam berat Cd dan Cu terjadi peningkatan berat sel kering, peningkatan panjang sel, dan penurunan nilai biomassa kering pada konsentrasi paparan 0,7 ppm; 1,3 ppm dan 1,9 ppm namun terjadi penurunan berat sel kering, penurunan panjang sel, dan peningkatan nilai biomassa kering pada paparan dengan konsentrasi 0 ppm (kontrol).

5.2 Saran

Perlu dilakukan pengukuran komposisi kimia pada mikroalga seperti kadar protein, lemak dan karbohidrat sebelum dan sesudah paparan logam berat pada penelitian selanjutnya. Hal itu bertujuan untuk mengetahui apakah paparan logam berat dapat merusak komposisi kimia pada mikroalga yang akan mempengaruhi berat individu selnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Algaebase. 2018. Spesies *Chaetoceros calcitrans*.
http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=139656
Diakses pada 24 November 2018.
- Aprimara, R. I. 2010. Komposisi Kimia *Chaetoceros gracilis* Yang Dikultivasi Dengan Penyinaran Dan Dipanen Pada Umur Kultur Yang Berbeda. Institut Pertanian Bogor: Bogor. Skripsi
- Araujo S. C., dan Gracia, V.M.T. 2005. Growth And Biochemical Composition Of The Diatom, *Chaetoceros Cf Wighamii* Brightwell Under Different Temperature, Salinity And Carbondioxide Level. I. Protein, Charbohidrats And Lipids. *Aquaculture* 246:405-412
- Astuti, C. C. 2017. Analisis Korelasi untuk Mengetahui Keeratan Hubungan antara Keaktifan Mahasiswa dengan Hasil Belajar Akhir. *Journal of Information and Computer Technology Education*. Vol. 1. No. 1. ISSN 2541 - 5107
- Balai Budidaya Laut. 2002. Budidaya Fitoplankton dan Zooplankton. Balai Budidaya Laut Lampung. Dirjen Budidaya. Departemen Kelautan dan Perikanan. Hal : 13-55.
- Castro P., dan Huber, M. E. 2007. *Marine Biology Sixth Edition*. Australia: Global Coastal Strategies.
- Dahuri, R. 2003. Keanekaragaman Hayati Laut: Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Danquah M. K., Gladman, B., Moheimani, N., dan Forde, G. M. 2009. Microalgal Growth Characteristics And Subsequent Influence On Dewatering Efficiency. *Chem Engg J* 51: 73-78.
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: UI Press.
- Djuwita, I., Pratiwi, I. A., Winarto, A., dan Sabri, M. 2012. Proliferasi Dan Diferensiasi Sel Tulang Tikus Dalam Medium Kultur In Vitro Yang Mengandung Ekstrak Batang *Cissus Quadrangula* Salisb. (Sipatah-Patah). *Jurnal Kedokteran Hewan*. ISSN : 1978-225X.
- Dwivedi S. 2012. Bioremediation Of Heavy Metal By Algae: Current And Future Perspective. *J Adv Lab Res Biol*. 3(3):195-199.
- Fismawati. 2010. Analisis Logam Berat Krom (Cr) Dan Timbal (Pb) Dalam Sedimen Muara Sungai Palu. Skripsi. Palu: Universitas Tadulako
- Fogg, GE. 1975. *Algae Culture and Fitoplankton Ecology*. University of Wiconsin Press: London.
- Fulks, W dan K. L. Main. 1991. Rotifer and Microalgae Culture System: Proceeding of a U.S-Asia Workshop. Argent Laboratories.

- Furqon. 2009. Statistika Terapan untuk Penelitian. Bandung: Alfabeta.
- Hamuna, B., Tanjung, R. H. R., Suwito., Maury, H. K., dan Alianto. 2018. Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia di Perairan Distrik Depapre, Jayapura. Jurnal Ilmu Lingkungan. Vol. 16. No. 1. Hal: 35-43. ISSN 1829-8907.
- Hasan, M. I. 2003. Pokok-pokok Materi Statistik 2 (Statistik Inferensial). Jakarta: Bumi Aksara.
- Hayati, N. 2005. Ulasan Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. ISSN 0854-8587.
- Irhamni, P. S., Purba, E., Hasan, W. 2017. Serapan Logam Berat Esensial dan Non Esensial pada Air Lindi TPA Kota Banda Aceh Dalam Mewujudkan Pembangunan Berkelanjutan. Serambi Eng. Vol. II. No. 7.
- Isnansetyo, A. & Kurniastuty. 1995. Teknik Kultur Phytoplankton dan Zooplankton: Pakan Alami untuk Pembenihan Organisme Laut. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Kusumaningtyas, M. A., Bramawanto, R., Daulat, A., dan Pranowo, W. S. 2014. Kualitas Perairan Natuna pada Musim Transisi. Depik. Vol. 3. No. 1. Hal: 142-150.
- Larasati, A.W., 2017. Toksisitas Tembaga (Cu) dan Kadmium (Cd) terhadap Pertumbuhan, Kadar Klorofil-A, dan Karotenoid Fitoplankton *Nitzschia* sp. Universitas Gajah Mada: Yogyakarta. Skripsi
- Mahdi, M. Z., Titisari, Y. N., dan Hadiyanto. 2012. Evaluasi Pertumbuhan Mikroalga dalam Medium Pome : Variasi Jenis Mikroalga, Medium dan Waktu Penambahan Nutrien. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri. Vol. 1. Hal: 284-291.
- Manurung, A. I. 2008. Karakterisasi Awal Protein Diatom *Chaetoceros Gracilis* Yang Terlibat Dalam Pembentukan Biosilika. Fakultas Pertanian. Medan : Universitas Darma Agung.
- Mihardja, D. K. Dan Pranowo, W. S. 2001. Kondisi Perairan Kepulauan Seribu. Bandung: Institut Teknologi Bandung-Pusat Penelitian Kelautan-Pusat Penelitian Kepariwisata
- Murugesan, A. G., Maheswari, S., dan Bagirath, G. 2008. Biosorption of Cadmium by Live and Immobilized Cells of *Spirulina platensis*. International Journal Environment Research. Vol. 2. No. 3. ISSN 1735-6865
- Pratiwi, N. 2018. Uji Potensi Mikroalga *Chaetoceros calcitrans* Sebagai Agen Bioremediasi Konsentrasi Logam Berat Cd Dan Cu Pada Skala Laboratorium. Skripsi
- Priadie, B. 2012. Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. Jurnal Ilmu Lingkungan. Vol. 10. Issue 1. Hal: 38-48. ISSN 1829-8907.

- Puspitasari, D. J., Khaeruddin, 2016. Kajian Bioremediasi Pada Tanah Tercemar Pestisida. Kovalen 2. <https://doi.org/10.22487/j24775398.2016.v2.i3.7541>.
- Rahmadiani, W. D. D. dan Aunurohim. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) oleh *Chaetoceros calcitrans* pada Konsentrasi Sublethal 2,5
- Rizky, Y. A., Raya, I., Dali, S., 2012. Penentuan Laju Pertumbuhan Sel Fitoplankton *Chaetoceros calcitrans*, *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, dan *Porphyridium cruentum*. Universitas Hasanudin Makassar Sulawesi Selatan. Hal: 1–7.
- Romimohtarto, K. 2004. Meroplankton Laut: Larva Hewan Laut yang Menjadi Plankton. Jakarta : Djambatan
- Salmin. 2005. Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan. Jurnal Oseana. Vol. XXX. No. 3. Hal: 21-26. ISSN 0216-1877
- Sarjono, A. 2009. Analisis Kandungan Logam Hg, Pb dan Cu dalam Air dan Jaringan Tubuh Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Kamal Muara, Jakarta Utara. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB. Bogor.
- Sarwono, J. 2006. Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Setiawan, H., 2013. Akumulasi Logam Berat dan Distribusi Logam Berat pada Vegetasi Mangrove di Perairan Pesisir Sulawesi Selatan. Jurnal Ilmu Kehutan. VII, 13.
- Shamsuddoha A. S. M., Bulbul A., Huq S. M. I. 2006. Accumulation Of Arsenic In Green Algae And Its Subsequent Transfer To The Soil-Plant System. Bangladesh J Med Microbiology. Vol. 22. No. 2. Hal: 148-151.
- Soeprbowati, T. R, dan Hariyati, R. 2013. "Bioaccumulation of Pb, Cd, Cu, and Cr by *Porphyridium cruentum* (S.F. Gray) Nägeli", International R. Journal of Marine Science 3(27): 212-218, doi: 10.5376/ijms.2013.03.0027
- Viobeth, B. R., Sumiyati, S., dan Sutrisno, E. 2013. Fitoremediasi Limbah Mengandung Timbal (Pb) dan Nikel (Ni) Menggunakan Tanaman Kiambang (*Salvinia molesta*).
- Wang, J. & Chen, C. 2009. Biosorbents For Heavy Metals Removal And Their Future. Biotechnol Adv 27. Hal: 195-226.
- Widowati, W., Sastiono, A., dan Jusuf, R. R., 2008. Efek Toksik Logam. CV. Andi Offset
- Zahroh, F. 2010. Kajian Keseimbangan Adsorpsi Cr (VI) Pada Biomassa Kangkung Air (*Ipomea aquatica* FORSK). Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Perhitungan Kepadatan Mikroalga Paparan Cd

Waktu (Jam)	Kepadatan <i>Chaetoceros calcitrans</i> paparan Cd ($\times 10^4$)			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	96	97	95	93
	88	108	90	92
	106	86	90	89
12	94	93	92	88
	86	105	87	90
	105	84	88	83
24	97	83	78	79
	95	96	77	76
	109	73	79	73
36	105	76	66	67
	100	77	68	66
	120	77	65	64
48	107	66	59	59
	109	61	57	53
	125	58	55	52
60	108	69	47	47
	112	53	44	44
	128	53	48	43
72	109	49	43	38
	117	42	38	36
	129	40	43	31
84	119	24	24	18
	121	25	21	16
	130	27	29	15
96	125	18	15	10
	127	11	18	12
	132	16	13	10

Lampiran 2. Hasil Perhitungan Kepadatan Mikroalga Paparan Cu

Waktu (Jam)	Kepadatan <i>Chaetoceros calcitrans</i> paparan Cu ($\times 10^4$)			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1, ppm (Z)
0	99	99	96	94
	80	90	92	94
	110	100	95	95
12	97	97	89	89
	76	91	93	86
	113	103	91	90
24	101	96	84	77
	77	90	90	75
	115	97	94	78
36	104	100	82	73
	82	80	86	72
	104	89	89	74
48	108	95	76	65
	89	71	72	67
	109	75	73	61
60	118	83	67	52
	102	59	64	54
	123	62	63	54
72	127	62	42	37
	120	42	41	38
	132	45	40	39
84	132	34	20	18
	123	24	17	11
	136	35	23	16
96	141	14	9	6
	133	12	2	1
	146	17	7	3

Lampiran 3. Hasil Pengukuran Biomassa Kering Mikroalga Paparan Cd

Waktu (Jam)	Biomassa Kering <i>Chaetoceros calcitrans</i> paparan Cd (mg/ml)			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	2,93	3,03	2,88	2,93
24	2,95	2,76	2,71	2,56
48	3,14	2,42	2,08	1,95
72	3,17	1,96	1,62	1,32
96	3,42	0,8	0,59	0,37

Lampiran 4. Hasil Pengukuran Biomassa Kering Mikroalga Paparan Cu

Waktu (Jam)	Biomassa Kering <i>Chaetoceros calcitrans</i> paparan Cu (mg/ml)			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	3,07	3,1	2,97	2,88
24	3,09	3,06	2,67	2,37
48	3,23	3,04	2,49	2,01
72	3,61	2,42	1,42	1,17
96	3,67	0,71	0,37	0,23

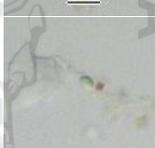
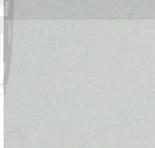
Lampiran 5. Hasil Perhitungan Berat Sel Mikroalga Paparan Cd

Waktu (Jam)	Berat Sel Kering <i>Chaetoceros calcitrans</i> paparan Cd (ng/sel)			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	3,05	3,12	3,03	3,15
24	3,04	3,33	3,27	3,24
48	2,93	3,67	3,53	3,31
72	2,91	4,00	3,77	3,47
96	2,74	4,44	3,93	3,70

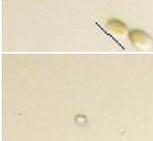
Lampiran 6. Hasil Perhitungan Berat Sel Mikroalga Paparan Cu

Waktu (Jam)	Berat Sel Kering <i>Chaetoceros calcitrans</i> paparan Cu (ng/sel)			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	3,10	3,13	3,09	3,06
24	3,06	3,19	3,18	3,08
48	2,99	3,20	3,28	3,09
72	2,84	3,90	3,38	3,16
96	2,60	5,07	4,11	3,83

Lampiran 7. Panjang Sel Paparan Cd

Logam Berat	Konsentrasi	Waktu	Gambar	Panjang Sel (μm)
Cd	0 ppm (O)	0		2,816
	0 ppm (O)	96		2,992
	0,7 ppm (X)	0		2,816
	0,7 ppm (X)	96		3,472
	1,3 ppm (Y)	0		3,168
	1,3 ppm (Y)	96		3,362
	1,9 ppm (Z)	0		2,816
	1,9 ppm (Z)	96		2,992

Lampiran 8. Panjang Sel Paparan Cu

Logam Berat	Konsentrasi	Waktu	Gambar	Panjang Sel (μm)
Cu	0 ppm (O)	0		2,992
	0 ppm (O)	96		3,168
	0,7 ppm (X)	0		2,816
	0,7 ppm (X)	96		3,872
	1,3 ppm (Y)	0		2,816
	1,3 ppm (Y)	96		3,696
	1,9 ppm (Z)	0		2,816
	1,9 ppm (Z)	96		3,484

Lampiran 9. Hasil Analisis *Two-way* ANOVA Biomassa Kering Paparan Cd

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Biomasa Kering Cd

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2273.229 ^a	19	119.644	16.384	.000
Intercept	22193.521	1	22193.521	3039.168	.000
Waktu	860.294	4	215.074	29.452	.000
Konsentrasi	850.769	3	283.590	38.835	.000
Waktu * Konsentrasi	562.166	12	46.847	6.415	.000
Error	146.050	20	7.303		
Total	24612.800	40			
Corrected Total	2419.279	39			

a. R Squared = .940 (Adjusted R Squared = .882)

Estimated Marginal Means

1. Waktu

Dependent Variable: Biomasa Kering Cd

Waktu	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0 jam	29.425	.955	27.432	31.418
24 jam	27.450	.955	25.457	29.443
48 jam	23.975	.955	21.982	25.968
72 jam	20.175	.955	18.182	22.168
96 jam	16.750	.955	14.757	18.743

2. Konsentrasi

Dependent Variable: Biomasa Kering Cd

Konsentrasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0 ppm	31.220	.855	29.437	33.003
0.7 ppm	22.940	.855	21.157	24.723
1.3 ppm	20.770	.855	18.987	22.553
1.9 ppm	19.290	.855	17.507	21.073

3. Waktu * Konsentrasi

Dependent Variable: Biomasa Kering Cd

Waktu	Konsentrasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
0 jam	0 ppm	29.300	1.911	25.314	33.286
	0.7 ppm	30.300	1.911	26.314	34.286
	1.3 ppm	28.800	1.911	24.814	32.786
	1.9 ppm	29.300	1.911	25.314	33.286
24 jam	0 ppm	29.500	1.911	25.514	33.486
	0.7 ppm	27.600	1.911	23.614	31.586
	1.3 ppm	27.100	1.911	23.114	31.086
	1.9 ppm	25.600	1.911	21.614	29.586
48 jam	0 ppm	31.400	1.911	27.414	35.386
	0.7 ppm	24.200	1.911	20.214	28.186
	1.3 ppm	20.800	1.911	16.814	24.786
	1.9 ppm	19.500	1.911	15.514	23.486
72 jam	0 ppm	31.700	1.911	27.714	35.686
	0.7 ppm	19.600	1.911	15.614	23.586
	1.3 ppm	16.200	1.911	12.214	20.186
	1.9 ppm	13.200	1.911	9.214	17.186
96 jam	0 ppm	34.200	1.911	30.214	38.186
	0.7 ppm	13.000	1.911	9.014	16.986
	1.3 ppm	10.950	1.911	6.964	14.936
	1.9 ppm	8.850	1.911	4.864	12.836

Post Hoc Tests

Waktu

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Biomasa Kering Cd

LSD

(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0 jam	24 jam	1.975	1.3512	.159	-.843	4.793
	48 jam	5.450*	1.3512	.001	2.632	8.268
	72 jam	9.250*	1.3512	.000	6.432	12.068
	96 jam	12.675*	1.3512	.000	9.857	15.493
24 jam	0 jam	-1.975	1.3512	.159	-4.793	.843
	48 jam	3.475*	1.3512	.018	.657	6.293
	72 jam	7.275*	1.3512	.000	4.457	10.093
	96 jam	10.700*	1.3512	.000	7.882	13.518
48 jam	0 jam	-5.450*	1.3512	.001	-8.268	-2.632
	24 jam	-3.475*	1.3512	.018	-6.293	-.657
	72 jam	3.800*	1.3512	.011	.982	6.618
	96 jam	7.225*	1.3512	.000	4.407	10.043
72 jam	0 jam	-9.250*	1.3512	.000	-12.068	-6.432
	24 jam	-7.275*	1.3512	.000	-10.093	-4.457
	48 jam	-3.800*	1.3512	.011	-6.618	-.982
	96 jam	3.425*	1.3512	.020	.607	6.243
96 jam	0 jam	-12.675*	1.3512	.000	-15.493	-9.857
	24 jam	-10.700*	1.3512	.000	-13.518	-7.882
	48 jam	-7.225*	1.3512	.000	-10.043	-4.407
	72 jam	-3.425*	1.3512	.020	-6.243	-.607

(I) Konsentrasi	(J) Konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0 ppm	0.7 ppm	8.280*	1.2085	.000	5.759	10.801
	1.3 ppm	10.450*	1.2085	.000	7.929	12.971
	1.9 ppm	11.930*	1.2085	.000	9.409	14.451
0.7 ppm	0 ppm	-8.280*	1.2085	.000	-10.801	-5.759
	1.3 ppm	2.170	1.2085	.088	-.351	4.691
	1.9 ppm	3.650*	1.2085	.007	1.129	6.171
1.3 ppm	0 ppm	-10.450*	1.2085	.000	-12.971	-7.929
	0.7 ppm	-2.170	1.2085	.088	-4.691	.351
	1.9 ppm	1.480	1.2085	.235	-1.041	4.001
1.9 ppm	0 ppm	-11.930*	1.2085	.000	-14.451	-9.409
	0.7 ppm	-3.650*	1.2085	.007	-6.171	-1.129
	1.3 ppm	-1.480	1.2085	.235	-4.001	1.041



Lampiran 10. Hasil Analisis *Two-way* ANOVA Biomassa Kering Paparan Cu

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Biomassa Kering Cu

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2075.379 ^a	19	109.230	43.692	.000
Intercept	26615.281	1	26615.281	10646.112	.000
Waktu	431.914	4	107.979	43.191	.000
Konsentrasi	1111.379	3	370.460	148.184	.000
Waktu * Konsentrasi	532.086	12	44.341	17.736	.000
Error	50.000	20	2.500		
Total	28740.660	40			
Corrected Total	2125.379	39			

a. R Squared = .976 (Adjusted R Squared = .954)

Estimated Marginal Means

1. Waktu

Dependent Variable: Biomassa Kering Cu

Waktu	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0 jam	30.050	.559	28.884	31.216
24 jam	27.975	.559	26.809	29.141
48 jam	26.925	.559	25.759	28.091
72 jam	22.800	.559	21.634	23.966
96 jam	21.225	.559	20.059	22.391

2. Konsentrasi

Dependent Variable: Biomassa Kering Cu

Konsentrasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0 ppm	33.340	.500	32.297	34.383
0.7 ppm	27.680	.500	26.637	28.723
1.3 ppm	22.840	.500	21.797	23.883
1.9 ppm	19.320	.500	18.277	20.363



Post Hoc Tests

Waktu

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Biomassa Kering Cu

LSD

(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0 jam	24 jam	2.075 [*]	.7906	.016	.426	3.724
	48 jam	3.125 [*]	.7906	.001	1.476	4.774
	72 jam	7.250 [*]	.7906	.000	5.601	8.899
	96 jam	8.825 [*]	.7906	.000	7.176	10.474
24 jam	0 jam	-2.075 [*]	.7906	.016	-3.724	-.426
	48 jam	1.050	.7906	.199	-.599	2.699
	72 jam	5.175 [*]	.7906	.000	3.526	6.824
	96 jam	6.750 [*]	.7906	.000	5.101	8.399
48 jam	0 jam	-3.125 [*]	.7906	.001	-4.774	-1.476
	24 jam	-1.050	.7906	.199	-2.699	.599
	72 jam	4.125 [*]	.7906	.000	2.476	5.774
	96 jam	5.700 [*]	.7906	.000	4.051	7.349
72 jam	0 jam	-7.250 [*]	.7906	.000	-8.899	-5.601
	24 jam	-5.175 [*]	.7906	.000	-6.824	-3.526
	48 jam	-4.125 [*]	.7906	.000	-5.774	-2.476
	96 jam	1.575	.7906	.060	-.074	3.224
96 jam	0 jam	-8.825 [*]	.7906	.000	-10.474	-7.176
	24 jam	-6.750 [*]	.7906	.000	-8.399	-5.101
	48 jam	-5.700 [*]	.7906	.000	-7.349	-4.051
	72 jam	-1.575	.7906	.060	-3.224	.074



3. Waktu * Konsentrasi

Dependent Variable: Biomassa Kering Cu

Waktu	Konsentrasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
0 jam	0 ppm	30.700	1.118	28.368	33.032
	0.7 ppm	31.000	1.118	28.668	33.332
	1.3 ppm	29.700	1.118	27.368	32.032
	1.9 ppm	28.800	1.118	26.468	31.132
24 jam	0 ppm	30.900	1.118	28.568	33.232
	0.7 ppm	30.600	1.118	28.268	32.932
	1.3 ppm	26.700	1.118	24.368	29.032
	1.9 ppm	23.700	1.118	21.368	26.032
48 jam	0 ppm	32.300	1.118	29.968	34.632
	0.7 ppm	30.400	1.118	28.068	32.732
	1.3 ppm	24.900	1.118	22.568	27.232
	1.9 ppm	20.100	1.118	17.768	22.432
72 jam	0 ppm	36.100	1.118	33.768	38.432
	0.7 ppm	24.200	1.118	21.868	26.532
	1.3 ppm	19.200	1.118	16.868	21.532
	1.9 ppm	11.700	1.118	9.368	14.032
96 jam	0 ppm	36.700	1.118	34.368	39.032
	0.7 ppm	22.200	1.118	19.868	24.532
	1.3 ppm	13.700	1.118	11.368	16.032
	1.9 ppm	12.300	1.118	9.968	14.632

(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0 jam	24 jam	2.075 [*]	.7906	.016	.426	3.724
	48 jam	3.125 [*]	.7906	.001	1.476	4.774
	72 jam	7.250 [*]	.7906	.000	5.601	8.899
	96 jam	8.825 [*]	.7906	.000	7.176	10.474
24 jam	0 jam	-2.075 [*]	.7906	.016	-3.724	-.426
	48 jam	1.050	.7906	.199	-.599	2.699
	72 jam	5.175 [*]	.7906	.000	3.526	6.824
	96 jam	6.750 [*]	.7906	.000	5.101	8.399
48 jam	0 jam	-3.125 [*]	.7906	.001	-4.774	-1.476
	24 jam	-1.050	.7906	.199	-2.699	.599
	72 jam	4.125 [*]	.7906	.000	2.476	5.774
	96 jam	5.700 [*]	.7906	.000	4.051	7.349



72 jam	0 jam	-7.250*	.7906	.000	-8.899	-5.601
	24 jam	-5.175*	.7906	.000	-6.824	-3.526
	48 jam	-4.125*	.7906	.000	-5.774	-2.476
	96 jam	1.575	.7906	.060	-.074	3.224
96 jam	0 jam	-8.825*	.7906	.000	-10.474	-7.176
	24 jam	-6.750*	.7906	.000	-8.399	-5.101
	48 jam	-5.700*	.7906	.000	-7.349	-4.051
	72 jam	-1.575	.7906	.060	-3.224	.074

(I) Konsentrasi	(J) Konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0 ppm	0.7 ppm	5.660*	.7071	.000	4.185	7.135
	1.3 ppm	10.500*	.7071	.000	9.025	11.975
	1.9 ppm	14.020*	.7071	.000	12.545	15.495
0.7 ppm	0 ppm	-5.660*	.7071	.000	-7.135	-4.185
	1.3 ppm	4.840*	.7071	.000	3.365	6.315
	1.9 ppm	8.360*	.7071	.000	6.885	9.835
1.3 ppm	0 ppm	-10.500*	.7071	.000	-11.975	-9.025
	0.7 ppm	-4.840*	.7071	.000	-6.315	-3.365
	1.9 ppm	3.520*	.7071	.000	2.045	4.995
1.9 ppm	0 ppm	-14.020*	.7071	.000	-15.495	-12.545
	0.7 ppm	-8.360*	.7071	.000	-9.835	-6.885
	1.3 ppm	-3.520*	.7071	.000	-4.995	-2.045

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2.500.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Lampiran 11. Hasil Analisis *Two-way* ANOVA Berat Sel Kering Paparan Cd

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Berat Sel Kering Cd

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	52265.100 ^a	19	2750.795	5.502	.000
Intercept	877936.900	1	877936.900	1755.874	.000
Waktu	38258.600	4	9564.650	19.129	.000
Konsentrasi	8704.300	3	2901.433	5.803	.005
Waktu * Konsentrasi	5302.200	12	441.850	.884	.576
Error	10000.000	20	500.000		
Total	940202.000	40			
Corrected Total	62265.100	39			

a. R Squared = .839 (Adjusted R Squared = .687)

Estimated Marginal Means

1. Waktu

Dependent Variable: Berat Sel Kering Cd

Waktu	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0 jam	108.750	7.906	92.259	125.241
24 jam	122.000	7.906	105.509	138.491
48 jam	148.500	7.906	132.009	164.991
72 jam	166.250	7.906	149.759	182.741
96 jam	195.250	7.906	178.759	211.741

2. Konsentrasi

Dependent Variable: Berat Sel Kering Cd

Konsentrasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0 ppm	133.400	7.071	118.650	148.150
0.7 ppm	171.200	7.071	156.450	185.950
1.3 ppm	150.600	7.071	135.850	165.350
1.9 ppm	137.400	7.071	122.650	152.150

3. Waktu * Konsentrasi

Dependent Variable: Berat Sel Kering Cd

Waktu	Konsentrasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
0 jam	0 ppm	105.000	15.811	72.018	137.982
	0.7 ppm	112.000	15.811	79.018	144.982
	1.3 ppm	103.000	15.811	70.018	135.982
	1.9 ppm	115.000	15.811	82.018	147.982
24 jam	0 ppm	104.000	15.811	71.018	136.982
	0.7 ppm	133.000	15.811	100.018	165.982
	1.3 ppm	127.000	15.811	94.018	159.982
	1.9 ppm	124.000	15.811	91.018	156.982
48 jam	0 ppm	143.000	15.811	110.018	175.982
	0.7 ppm	167.000	15.811	134.018	199.982
	1.3 ppm	153.000	15.811	120.018	185.982
	1.9 ppm	131.000	15.811	98.018	163.982
72 jam	0 ppm	141.000	15.811	108.018	173.982
	0.7 ppm	200.000	15.811	167.018	232.982
	1.3 ppm	177.000	15.811	144.018	209.982
	1.9 ppm	147.000	15.811	114.018	179.982
96 jam	0 ppm	174.000	15.811	141.018	206.982
	0.7 ppm	244.000	15.811	211.018	276.982
	1.3 ppm	193.000	15.811	160.018	225.982
	1.9 ppm	170.000	15.811	137.018	202.982

Post Hoc Tests

Waktu

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Berat Sel Kering Cd

	(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	0 jam	24 jam	-10.450*	2.9355	.002	-16.573	-4.327
		48 jam	-8.638*	2.9355	.008	-14.761	-2.514
		72 jam	-9.938*	2.9355	.003	-16.061	-3.814
		96 jam	-32.225*	2.9355	.000	-38.348	-26.102
	24 jam	0 jam	10.450*	2.9355	.002	4.327	16.573
		48 jam	1.813	2.9355	.544	-4.311	7.936
		72 jam	.513	2.9355	.863	-5.611	6.636
		96 jam	-21.775*	2.9355	.000	-27.898	-15.652
	48 jam	0 jam	8.638*	2.9355	.008	2.514	14.761
		24 jam	-1.813	2.9355	.544	-7.936	4.311
		72 jam	-1.300	2.9355	.663	-7.423	4.823
		96 jam	-23.588*	2.9355	.000	-29.711	-17.464
	72 jam	0 jam	9.938*	2.9355	.003	3.814	16.061
		24 jam	-.513	2.9355	.863	-6.636	5.611
		48 jam	1.300	2.9355	.663	-4.823	7.423
		96 jam	-22.288*	2.9355	.000	-28.411	-16.164
96 jam	0 jam	32.225*	2.9355	.000	26.102	38.348	
	24 jam	21.775*	2.9355	.000	15.652	27.898	
	48 jam	23.588*	2.9355	.000	17.464	29.711	
	72 jam	22.288*	2.9355	.000	16.164	28.411	

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 34.470.

*. The mean difference is significant at the .05 level.



Konsentrasi

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Berat Sel Kering Cd

LSD	(I) Konsentrasi	(J) Konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
	0 ppm	0.7 ppm	-11.960*	2.6256	.000	-17.437	-6.483
		1.3 ppm	-9.460*	2.6256	.002	-14.937	-3.983
		1.9 ppm	-3.160	2.6256	.243	-8.637	2.317
	0.7 ppm	0 ppm	11.960*	2.6256	.000	6.483	17.437
		1.3 ppm	2.500	2.6256	.352	-2.977	7.977
		1.9 ppm	8.800*	2.6256	.003	3.323	14.277
	1.3 ppm	0 ppm	9.460*	2.6256	.002	3.983	14.937
		0.7 ppm	-2.500	2.6256	.352	-7.977	2.977
		1.9 ppm	6.300*	2.6256	.026	.823	11.777
	1.9 ppm	0 ppm	3.160	2.6256	.243	-2.317	8.637
		0.7 ppm	-8.800*	2.6256	.003	-14.277	-3.323
		1.3 ppm	-6.300*	2.6256	.026	-11.777	-.823

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 34.470.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.



Lampiran 12. Hasil Analisis *Two-way* ANOVA Berat Sel Kering Paparan Cu

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Berat Sel Kering Cu

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	105485.900 ^a	19	5551.889	2220.756	.000
Intercept	650760.100	1	650760.100	260304.040	.000
Waktu	39410.400	4	9852.600	3941.040	.000
Konsentrasi	21233.900	3	7077.967	2831.187	.000
Waktu * Konsentrasi	44841.600	12	3736.800	1494.720	.000
Error	50.000	20	2.500		
Total	756296.000	40			
Corrected Total	105535.900	39			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = .999)

Estimated Marginal Means

1. Waktu

Dependent Variable: Berat Sel Kering Cu

Waktu	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0 jam	109.750	.559	108.584	110.916
24 jam	112.750	.559	111.584	113.916
48 jam	110.750	.559	109.584	111.916
72 jam	114.250	.559	113.084	115.416
96 jam	190.250	.559	189.084	191.416

2. Konsentrasi

Dependent Variable: Berat Sel Kering Cu

Konsentrasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0 ppm	92.000	.500	90.957	93.043
0.7 ppm	154.000	.500	152.957	155.043
1.3 ppm	139.800	.500	138.757	140.843
1.9 ppm	124.400	.500	123.357	125.443

3. Waktu * Konsentrasi

Dependent Variable: Berat Sel Kering Cu

Waktu	Konsentrasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
0 jam	0 ppm	111.000	1.118	108.668	113.332
	0.7 ppm	113.000	1.118	110.668	115.332
	1.3 ppm	109.000	1.118	106.668	111.332
	1.9 ppm	106.000	1.118	103.668	108.332
24 jam	0 ppm	106.000	1.118	103.668	108.332
	0.7 ppm	119.000	1.118	116.668	121.332
	1.3 ppm	118.000	1.118	115.668	120.332
	1.9 ppm	108.000	1.118	105.668	110.332
48 jam	0 ppm	99.000	1.118	96.668	101.332
	0.7 ppm	112.000	1.118	109.668	114.332
	1.3 ppm	123.000	1.118	120.668	125.332
	1.9 ppm	109.000	1.118	106.668	111.332
72 jam	0 ppm	84.000	1.118	81.668	86.332
	0.7 ppm	119.000	1.118	116.668	121.332
	1.3 ppm	138.000	1.118	135.668	140.332
	1.9 ppm	116.000	1.118	113.668	118.332
96 jam	0 ppm	60.000	1.118	57.668	62.332
	0.7 ppm	307.000	1.118	304.668	309.332
	1.3 ppm	211.000	1.118	208.668	213.332
	1.9 ppm	183.000	1.118	180.668	185.332



Post Hoc Tests

Waktu

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Berat Sel Kering Cu

	(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	0 jam	24 jam	-5.6875*	.29208	.000	-6.2968	-5.0782
		48 jam	-10.9500*	.29208	.000	-11.5593	-10.3407
		72 jam	-17.2500*	.29208	.000	-17.8593	-16.6407
		96 jam	-28.0750*	.29208	.000	-28.6843	-27.4657
	24 jam	0 jam	5.6875*	.29208	.000	5.0782	6.2968
		48 jam	-5.2625*	.29208	.000	-5.8718	-4.6532
		72 jam	-11.5625*	.29208	.000	-12.1718	-10.9532
		96 jam	-22.3875*	.29208	.000	-22.9968	-21.7782
	48 jam	0 jam	10.9500*	.29208	.000	10.3407	11.5593
		24 jam	5.2625*	.29208	.000	4.6532	5.8718
		72 jam	-6.3000*	.29208	.000	-6.9093	-5.6907
		96 jam	-17.1250*	.29208	.000	-17.7343	-16.5157
	72 jam	0 jam	17.2500*	.29208	.000	16.6407	17.8593
		24 jam	11.5625*	.29208	.000	10.9532	12.1718
		48 jam	6.3000*	.29208	.000	5.6907	6.9093
		96 jam	-10.8250*	.29208	.000	-11.4343	-10.2157
	96 jam	0 jam	28.0750*	.29208	.000	27.4657	28.6843
		24 jam	22.3875*	.29208	.000	21.7782	22.9968
		48 jam	17.1250*	.29208	.000	16.5157	17.7343
		72 jam	10.8250*	.29208	.000	10.2157	11.4343

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .341.

*. The mean difference is significant at the .05 level.



Konsentrasi

Multiple Comparisons

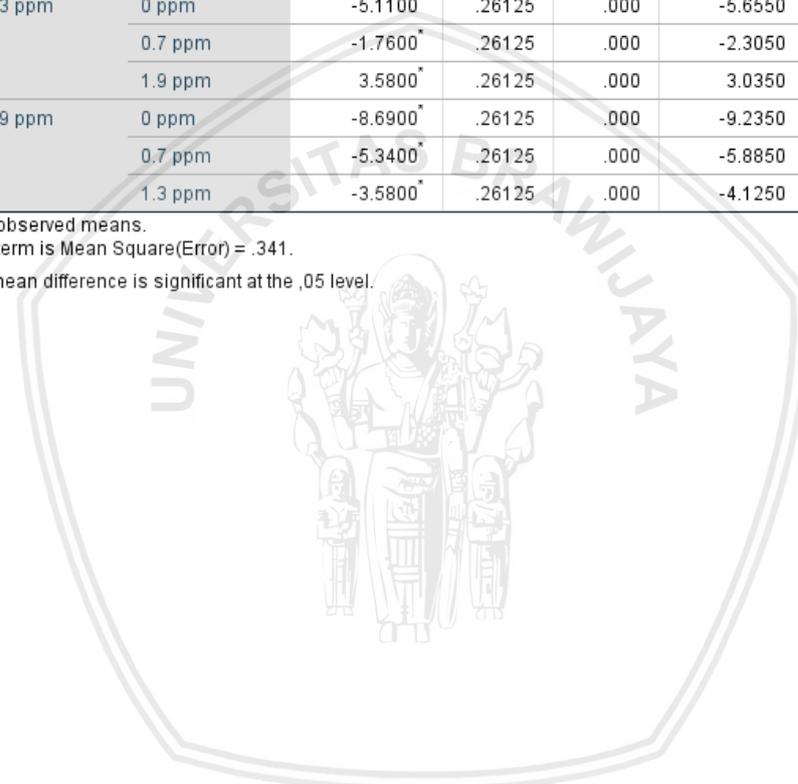
Dependent Variable: Berat Sel Kering Cu

	(I) Konsentrasi	(J) Konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	0 ppm	0.7 ppm	3.3500*	.26125	.000	2.8050	3.8950
		1.3 ppm	5.1100*	.26125	.000	4.5650	5.6550
		1.9 ppm	8.6900*	.26125	.000	8.1450	9.2350
	0.7 ppm	0 ppm	-3.3500*	.26125	.000	-3.8950	-2.8050
		1.3 ppm	1.7600*	.26125	.000	1.2150	2.3050
		1.9 ppm	5.3400*	.26125	.000	4.7950	5.8850
	1.3 ppm	0 ppm	-5.1100*	.26125	.000	-5.6550	-4.5650
		0.7 ppm	-1.7600*	.26125	.000	-2.3050	-1.2150
		1.9 ppm	3.5800*	.26125	.000	3.0350	4.1250
	1.9 ppm	0 ppm	-8.6900*	.26125	.000	-9.2350	-8.1450
		0.7 ppm	-5.3400*	.26125	.000	-5.8850	-4.7950
		1.3 ppm	-3.5800*	.26125	.000	-4.1250	-3.0350

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .341.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.



Lampiran 13. Hasil Analisis *Two-way* ANOVA Panjang Sel Paparan Cd

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Panjang Sel Cd

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	23787.500 ^a	19	1251.974	4.432	.001
Intercept	588062.500	1	588062.500	2081.637	.000
Waktu	18050.000	4	4512.500	15.973	.000
Konsentrasi	1187.500	3	395.833	1.401	.272
Waktu * Konsentrasi	4550.000	12	379.167	1.342	.271
Error	5650.000	20	282.500		
Total	617500.000	40			
Corrected Total	29437.500	39			

a. R Squared = .808 (Adjusted R Squared = .626)

Estimated Marginal Means

1. Waktu

Dependent Variable: Panjang Sel Cd

Waktu	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	97.500	5.942	85.104	109.896
24	97.500	5.942	85.104	109.896
48	121.250	5.942	108.854	133.646
72	145.000	5.942	132.604	157.396
96	145.000	5.942	132.604	157.396

2. Konsentrasi

Dependent Variable: Panjang Sel Cd

Konsentrasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0 ppm	120.000	5.315	108.913	131.087
0.7 ppm	120.000	5.315	108.913	131.087
1.3 ppm	130.000	5.315	118.913	141.087
1.9 ppm	115.000	5.315	103.913	126.087



3. Waktu * Konsentrasi

Dependent Variable: Panjang Sel Cd

Waktu	Konsentrasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
0	0 ppm	80.000	11.885	55.209	104.791
	0.7 ppm	90.000	11.885	65.209	114.791
	1.3 ppm	120.000	11.885	95.209	144.791
	1.9 ppm	100.000	11.885	75.209	124.791
24	0 ppm	80.000	11.885	55.209	104.791
	0.7 ppm	90.000	11.885	65.209	114.791
	1.3 ppm	120.000	11.885	95.209	144.791
	1.9 ppm	100.000	11.885	75.209	124.791
48	0 ppm	120.000	11.885	95.209	144.791
	0.7 ppm	120.000	11.885	95.209	144.791
	1.3 ppm	130.000	11.885	105.209	154.791
	1.9 ppm	115.000	11.885	90.209	139.791
72	0 ppm	160.000	11.885	135.209	184.791
	0.7 ppm	150.000	11.885	125.209	174.791
	1.3 ppm	140.000	11.885	115.209	164.791
	1.9 ppm	130.000	11.885	105.209	154.791
96	0 ppm	160.000	11.885	135.209	184.791
	0.7 ppm	150.000	11.885	125.209	174.791
	1.3 ppm	140.000	11.885	115.209	164.791
	1.9 ppm	130.000	11.885	105.209	154.791

Post Hoc Tests

Waktu

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Panjang Sel Cd

	(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	0	24	.000	3.1014	1.000	-6.469	6.469
		48	.000	3.1014	1.000	-6.469	6.469
		72	-5.125	3.1014	.114	-11.594	1.344
		96	5.125	3.1014	.114	-1.344	11.594
	24	0	.000	3.1014	1.000	-6.469	6.469
		48	.000	3.1014	1.000	-6.469	6.469
		72	-5.125	3.1014	.114	-11.594	1.344
		96	5.125	3.1014	.114	-1.344	11.594
	48	0	.000	3.1014	1.000	-6.469	6.469
		24	.000	3.1014	1.000	-6.469	6.469
		72	-5.125	3.1014	.114	-11.594	1.344
		96	5.125	3.1014	.114	-1.344	11.594
	72	0	5.125	3.1014	.114	-1.344	11.594
		24	5.125	3.1014	.114	-1.344	11.594
		48	5.125	3.1014	.114	-1.344	11.594
		96	10.250*	3.1014	.004	3.781	16.719
96	0	-5.125	3.1014	.114	-11.594	1.344	
	24	-5.125	3.1014	.114	-11.594	1.344	
	48	-5.125	3.1014	.114	-11.594	1.344	
	72	-10.250*	3.1014	.004	-16.719	-3.781	

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 38.475.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Konsentrasi

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Panjang Sel Cd

	(I) Konsentrasi	(J) Konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	0 ppm	0.7 ppm	2.500	2.7740	.378	-3.286	8.286
		1.3 ppm	3.500	2.7740	.222	-2.286	9.286
		1.9 ppm	6.500*	2.7740	.030	.714	12.286
	0.7 ppm	0 ppm	-2.500	2.7740	.378	-8.286	3.286
		1.3 ppm	1.000	2.7740	.722	-4.786	6.786
		1.9 ppm	4.000	2.7740	.165	-1.786	9.786
	1.3 ppm	0 ppm	-3.500	2.7740	.222	-9.286	2.286
		0.7 ppm	-1.000	2.7740	.722	-6.786	4.786
		1.9 ppm	3.000	2.7740	.292	-2.786	8.786
	1.9 ppm	0 ppm	-6.500*	2.7740	.030	-12.286	-.714
		0.7 ppm	-4.000	2.7740	.165	-9.786	1.786
		1.3 ppm	-3.000	2.7740	.292	-8.786	2.786

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 38.475.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.



Lampiran 14. Hasil Analisis *Two-way* ANOVA Panjang Sel Paparan Cu

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Panjang Sel Cd

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	36427.500 ^a	19	1917.237	63.908	.000
Intercept	775622.500	1	775622.500	25854.083	.000
Waktu	28840.000	4	7210.000	240.333	.000
Konsentrasi	6027.500	3	2009.167	66.972	.000
Waktu * Konsentrasi	1560.000	12	130.000	4.333	.002
Error	600.000	20	30.000		
Total	812650.000	40			
Corrected Total	37027.500	39			

a. R Squared = .984 (Adjusted R Squared = .968)

Estimated Marginal Means

1. Waktu

Dependent Variable: Panjang Sel Cd

Waktu	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	103.750	1.936	99.711	107.789
24	122.500	1.936	118.461	126.539
48	135.000	1.936	130.961	139.039
72	152.500	1.936	148.461	156.539
96	182.500	1.936	178.461	186.539

2. Konsentrasi

Dependent Variable: Panjang Sel Cd

Konsentrasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0 ppm	120.000	1.732	116.387	123.613
0.7 ppm	140.000	1.732	136.387	143.613
1.3 ppm	143.000	1.732	139.387	146.613
1.9 ppm	154.000	1.732	150.387	157.613

3. Waktu * Konsentrasi

Dependent Variable: Panjang Sel Cd

Waktu	Konsentrasi	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
0	0 ppm	90.000	3.873	81.921	98.079
	0.7 ppm	110.000	3.873	101.921	118.079
	1.3 ppm	105.000	3.873	96.921	113.079
	1.9 ppm	110.000	3.873	101.921	118.079
24	0 ppm	110.000	3.873	101.921	118.079
	0.7 ppm	130.000	3.873	121.921	138.079
	1.3 ppm	120.000	3.873	111.921	128.079
	1.9 ppm	130.000	3.873	121.921	138.079
48	0 ppm	120.000	3.873	111.921	128.079
	0.7 ppm	130.000	3.873	121.921	138.079
	1.3 ppm	140.000	3.873	131.921	148.079
	1.9 ppm	150.000	3.873	141.921	158.079
72	0 ppm	130.000	3.873	121.921	138.079
	0.7 ppm	150.000	3.873	141.921	158.079
	1.3 ppm	160.000	3.873	151.921	168.079
	1.9 ppm	170.000	3.873	161.921	178.079
96	0 ppm	150.000	3.873	141.921	158.079
	0.7 ppm	180.000	3.873	171.921	188.079
	1.3 ppm	190.000	3.873	181.921	198.079
	1.9 ppm	210.000	3.873	201.921	218.079

Post Hoc Tests

Waktu

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Panjang Sel Cu

	(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	0	24	.000	3.4013	1.000	-7.095	7.095
		48	.000	3.4013	1.000	-7.095	7.095
		72	-5.375	3.4013	.130	-12.470	1.720
		96	5.375	3.4013	.130	-1.720	12.470
	24	0	.000	3.4013	1.000	-7.095	7.095
		48	.000	3.4013	1.000	-7.095	7.095
		72	-5.375	3.4013	.130	-12.470	1.720
		96	5.375	3.4013	.130	-1.720	12.470
	48	0	.000	3.4013	1.000	-7.095	7.095
		24	.000	3.4013	1.000	-7.095	7.095
		72	-5.375	3.4013	.130	-12.470	1.720
		96	5.375	3.4013	.130	-1.720	12.470
	72	0	5.375	3.4013	.130	-1.720	12.470
		24	5.375	3.4013	.130	-1.720	12.470
		48	5.375	3.4013	.130	-1.720	12.470
		96	10.750*	3.4013	.005	3.655	17.845
96	0	-5.375	3.4013	.130	-12.470	1.720	
	24	-5.375	3.4013	.130	-12.470	1.720	
	48	-5.375	3.4013	.130	-12.470	1.720	
	72	-10.750*	3.4013	.005	-17.845	-3.655	

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 46.275.

*. The mean difference is significant at the .05 level.



Konsentrasi

Multiple Comparisons

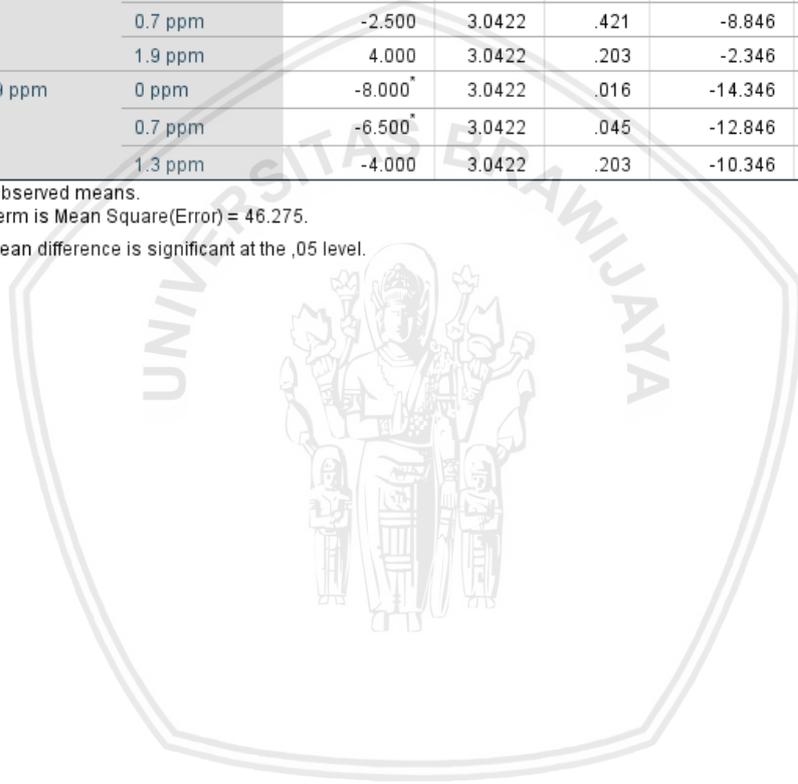
Dependent Variable: Panjang Sel Cu

	(I) Konsentrasi	(J) Konsentrasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	0 ppm	0.7 ppm	1.500	3.0422	.627	-4.846	7.846
		1.3 ppm	4.000	3.0422	.203	-2.346	10.346
		1.9 ppm	8.000*	3.0422	.016	1.654	14.346
	0.7 ppm	0 ppm	-1.500	3.0422	.627	-7.846	4.846
		1.3 ppm	2.500	3.0422	.421	-3.846	8.846
		1.9 ppm	6.500*	3.0422	.045	.154	12.846
	1.3 ppm	0 ppm	-4.000	3.0422	.203	-10.346	2.346
		0.7 ppm	-2.500	3.0422	.421	-8.846	3.846
		1.9 ppm	4.000	3.0422	.203	-2.346	10.346
	1.9 ppm	0 ppm	-8.000*	3.0422	.016	-14.346	-1.654
		0.7 ppm	-6.500*	3.0422	.045	-12.846	-.154
		1.3 ppm	-4.000	3.0422	.203	-10.346	2.346

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 46.275.

*. The mean difference is significant at the .05 level.



Lampiran 15. Hasil Pengukuran Suhu pada Paparan Cd

Waktu (Jam)	Hasil Pengukuran Suhu Paparan Cd (°C)			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	28,73±0,06	28,77±0,15	28,83±0,21	28,83±0,06
12	28,80±0,10	28,97±0,06	29,00±0,00	28,90±0,00
24	27,30±0,10	27,23±0,06	27,30±0,10	27,23±0,06
36	27,23±0,06	27,30±0,10	27,27±0,15	27,17±0,06
48	26,80±0,10	26,90±0,30	26,53±0,21	26,07±0,12
60	26,30±0,10	26,20±0,10	26,27±0,12	26,23±0,06
72	26,27±0,15	26,17±0,12	26,20±0,17	26,17±0,12
84	26,00±0,00	26,13±0,06	26,03±0,06	26,03±0,06
96	26,10±0,10	26,10±0,10	26,10±0,10	26,03±0,06

Lampiran 16. Hasil Pengukuran Suhu pada Paparan Cu

Waktu (Jam)	Hasil Pengukuran Suhu Paparan Cu (°C)			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	28,8±0,06	28,9±0,06	28,9±0,10	28,8±0,00
12	28,9±0,06	29,0±0,00	29,0±0,06	28,9±0,06
24	27,3±0,06	27,2±0,00	27,3±0,06	27,2±0,06
36	27,3±0,06	27,3±0,10	27,3±0,15	27,2±0,10
48	26,8±0,15	26,9±0,10	26,6±0,10	26,1±0,17
60	26,3±0,10	26,3±0,21	26,3±0,17	26,2±0,00
72	26,3±0,21	26,2±0,12	26,2±0,17	26,2±0,23
84	26,3±0,12	26,2±0,17	26,1±0,17	26,2±0,10
96	26,2±0,06	26,0±0,00	26,2±0,10	26,2±0,20

Lampiran 17. Hasil Pengukuran Salinitas pada Paparan Cd

Waktu (Jam)	Hasil Pengukuran Salinitas Paparan Cd (ppt)			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	28,67±0,58	28,87±0,23	29,03±0,15	29,00±0,26
12	28,53±0,47	29,23±0,40	29,33±0,58	28,27±1,10
24	27,57±0,38	27,23±0,06	27,03±0,47	27,47±0,46
36	26,83±0,72	26,87±0,47	27,57±0,38	25,30±0,36
48	26,23±1,07	26,90±0,30	26,23±0,40	25,00±0,00
60	26,47±0,38	26,20±0,10	26,03±0,47	25,33±0,06
72	26,13±0,38	26,17±0,12	26,50±0,46	25,17±0,12
84	26,33±0,58	26,13±0,06	26,37±0,55	26,37±0,55
96	26,40±0,53	26,10±0,10	25,73±0,64	26,13±0,15

Lampiran 18. Hasil Pengukuran Salinitas pada Paparan Cu

Waktu (Jam)	Hasil Pengukuran Salinitas Paparan Cu (ppt)			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	28,06±0,64	28,20±0,52	28,23±0,49	28,13±0,58
12	28,87±0,06	29,33±0,58	28,67±0,58	28,27±1,10
24	27,27±0,06	27,20±0,00	26,83±0,72	27,50±0,44
36	27,50±0,44	27,27±0,75	26,83±0,74	27,43±0,49
48	26,83±0,15	26,57±0,49	26,07±0,93	26,33±0,58
60	25,87±0,76	26,67±0,67	26,57±0,40	26,20±0,00
72	26,53±0,45	26,73±1,10	25,93±0,86	26,53±0,45
84	26,43±0,40	26,50±0,46	26,931,37	26,5±0,44
96	27,47±1,10	25,83±0,76	25,97±0,31	25,37±1,19

Lampiran 19. Hasil Pengukuran DO pada Paparan Cd

Waktu (Jam)	Hasil Pengukuran DO Paparan Cd (mg/l)			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	6,93±0,06	7,00±0,20	6,93±0,06	6,97±0,06
12	6,70±0,17	6,63±0,12	6,60±0,10	6,27±0,21
24	6,63±0,31	6,40±0,26	6,27±0,15	6,67±0,15
36	6,83±0,12	6,57±0,12	6,07±0,15	6,43±0,31
48	6,83±0,06	6,70±0,20	6,47±0,12	6,27±0,06
60	6,67±0,21	6,47±0,25	6,40±0,10	6,20±0,17
72	7,07±0,21	6,47±0,21	6,63±0,06	6,70±0,20
84	6,97±0,31	6,27±0,15	6,33±0,06	5,77±0,15
96	7,10±0,20	6,17±0,23	6,00±0,10	5,67±0,25

Lampiran 20. Hasil Pengukuran DO pada Paparan Cu

Waktu (Jam)	Hasil Pengukuran DO Paparan Cu (mg/l)			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	6,90±0,10	7,00±0,20	6,87±0,15	6,97±0,06
12	6,70±0,17	6,63±0,12	6,60±0,10	6,50±0,10
24	6,47±0,21	6,40±0,26	6,27±0,15	6,43±0,06
36	6,83±0,12	6,20±0,26	6,07±0,15	6,53±0,38
48	6,83±0,06	6,50±0,20	6,47±0,12	6,30±0,10
60	6,73±0,15	6,60±0,10	6,63±0,12	6,20±0,17
72	6,93±0,06	6,47±0,21	6,63±0,06	6,70±0,20
84	6,87±0,15	6,27±0,15	6,33±0,06	5,77±0,15
96	6,93±0,21	5,83±0,06	5,63±0,06	5,37±0,15

Lampiran 21. Hasil Pengukuran pH pada Paparan Cd

Waktu (Jam)	Hasil Pengukuran pH Paparan Cd			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	8,07±0,06	7,93±0,12	7,97±0,12	8,10±0,10
12	8,07±0,12	8,03±0,15	8,30±0,10	7,97±0,15
24	8,13±0,15	8,03±0,06	7,77±0,06	7,97±0,06
36	8,30±0,10	7,93±0,06	7,90±0,10	7,77±0,06
48	8,20±0,17	8,07±0,06	8,10±0,10	7,87±0,06
60	8,13±0,12	8,07±0,12	8,07±0,12	7,97±0,06
72	8,10±0,10	7,90±0,17	7,83±0,15	7,90±0,10
84	8,23±0,06	7,90±0,10	7,93±0,06	7,97±0,06
96	8,03±0,06	7,97±0,06	7,93±0,12	7,73±0,12

Lampiran 22. Hasil Pengukuran pH pada Paparan Cu

Waktu (Jam)	Hasil Pengukuran pH Paparan Cu			
	0 ppm (O)	0,7 ppm (X)	1,3 ppm (Y)	1,9 ppm (Z)
0	8,00±0,10	7,93±0,06	8,03±0,12	8,00±0,00
12	8,33±0,12	8,03±0,06	8,20±0,10	8,03±0,06
24	8,33±0,06	8,07±0,12	7,90±0,10	7,83±0,06
36	8,50±0,10	8,27±0,12	7,93±0,06	7,80±0,00
48	8,27±0,12	8,27±0,06	8,07±0,12	7,90±0,10
60	8,23±0,06	8,43±0,06	8,17±0,15	7,83±0,12
72	8,20±0,10	8,43±0,15	8,13±0,15	7,73±0,15
84	8,43±0,06	8,27±0,10	7,90±0,10	7,83±0,06
96	8,37±0,06	8,33±0,12	8,17±0,12	7,87±0,06