

**PEMANFAATAN ALGA BERFILAMEN (*Spirogyra* sp.)
DAN KIJING LOKAL (*Pilsbryoconcha exilis*) SEBAGAI AGEN
BIOREMEDIASI LIMBAH BUDIDAYA SIDAT**

TRI APRIADI



**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2014**

Has Cita, Prestasi, dan Unggul
1. Di bidang lingkungan sebagai salah satu pilar pembangunan dan kesejahteraan
2. Pergerakan berpikir untuk keberlanjutan sumberdaya, lingkungan, pertanian, kesehatan, pangan, pendidikan kritis, dan tujuan mulia manusia
3. Berprestasi tidak hanya sekedar kecerdasan yang wajar IPB University
4. Berprestasi menginspirasi dan menantang sebagai salah satu pilar pembangunan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis berjudul Pemanfaatan Alga Berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan Kijing Lokal (*Pilsbryoconcha exilis*) sebagai Agen Bioremediasi Limbah Budidaya Sidat adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2014

Tri Apriadi
C251110101

Hak Cipta Peningkatan Kualitas Pendidikan
1. Dilindungi sebagai hak cipta milik IPB University dan tidak dapat diperjualbelikan atau dipinjamkan kepada pihak lain.
2. Pengutipan harus mencantumkan sumber dan tidak boleh dilakukan secara komersial.
3. Diperbolehkan untuk mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dengan syarat: a) untuk tujuan pendidikan.
4. Pengutipan harus mencantumkan sumber dan tidak boleh dilakukan secara komersial.
5. Pengutipan tidak boleh merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

RINGKASAN

TRI APRIADI. Pemanfaatan Alga Berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan Kijing Lokal (*Pilsbryoconcha exilis*) sebagai Agen Bioremediasi Limbah Budidaya Sidat. Dibimbing oleh NIKEN TUNJUNG MURTI PRATIWI dan SIGID HARIYADI.

Salah satu masalah yang dapat ditimbulkan dari budidaya intensif ikan sidat adalah buangan limbah cair yang mengandung bahan organik dengan konsentrasi tinggi. Tingginya konsentrasi bahan organik ini disebabkan oleh sisa pakan dan feses yang dihasilkan selama masa budidaya. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk pengolahan limbah organik budidaya sidat ini yaitu melalui bioremediasi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan kandungan bahan organik limbah budidaya yang diolah secara biologi menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryoconcha exilis*). Penelitian dilakukan pada skala laboratorium menggunakan wadah akuarium resirkulasi dengan sistem *carrousel*. Air limbah yang digunakan diambil dari buangan budidaya intensif ikan sidat, kijing lokal dan *Spirogyra* sp. dikumpulkan dari alam lalu diaklimatisasi di laboratorium sebelum digunakan. Penelitian dibagi menjadi dua tahap, yaitu penelitian pendahuluan (tahap pemanfaatan kijing lokal lalu dilanjutkan tahap pemanfaatan *Spirogyra* sp.) dan penelitian utama berupa tahap pemanfaatan kombinasi *Spirogyra* sp. dan kijing lokal. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian pendahuluan, pada pelaksanaan penelitian utama digunakan dosis limbah 50%, kijing lokal berukuran besar (55,96-80,59 g), bobot kijing 350 g, bobot *Spirogyra* sp. 9 g, dan waktu retensi 6 hari.

Penelitian utama dilakukan melalui percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok. Empat perlakuan yang diuji yaitu perlakuan kijing lokal, perlakuan alga berfilamen, perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal, serta kontrol. Dilakukan tiga kali ulangan untuk masing-masing perlakuan. Parameter yang diukur harian selama enam hari retensi yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), *Total Dissolved Solid* (TDS), kekeruhan, amonia (NH₃-N), nitrat (NO₃-N), ortofosfat (PO₄-P), alkalinitas, bobot *Spirogyra* sp., dan bobot kijing lokal. Parameter lainnya yang diukur untuk pengamatan pagi dan pengamatan siang yaitu pH, suhu, DO, dan intensitas cahaya. Selanjutnya diukur juga volume endapan limbah, analisis proksimat di endapan limbah, *Spirogyra* sp., kijing lokal sebelum dan sesudah perlakuan.

Setelah enam hari retensi, diperoleh hasil bahwa perlakuan kijing lokal memiliki kemampuan tertinggi dalam menurunkan nilai COD (penurunan 54,3%), diikuti perlakuan alga berfilamen (52,4%), perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal (51,4%), dan kontrol (49,5%). Pemanfaatan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal juga dapat menurunkan nilai kekeruhan dan TSS, serta meningkatkan nilai TDS, alkalinitas, dan pH. Penggunaan *Spirogyra* sp. dan kijing lokal cukup efektif untuk menurunkan kandungan bahan organik pada air limbah.

Kata kunci: bahan organik, bioremediasi, *Pilsbryoconcha exilis*, *Spirogyra* sp.

SUMMARY

TRI APRIADI. Utilization of Filamentous Algae (*Spirogyra* sp.) and Tropical Swan Mussel (*Pilsbryconcha exilis*) as Bioremediation Agent for Eel Aquaculture Wastewater. Supervised by NIKEN TUNJUNG MURTI PRATIWI and SIGID HARIYADI.

One of the problems that may result from intensive aquaculture eel is wastewater effluent, containing high concentrations of organic matter. The high concentration of organic matter was caused by fish feed and feces produced during the rearing period. One of the efforts that can be done for the treatment of eel organic wastes is bioremediation. The objective of the present study is to analyze the changes of the organic matter concentration from eel aquaculture wastewater with biological treatment using filamentous algae (*Spirogyra* sp.) and tropical swan mussel (*Pilsbryconcha exilis*).

The study was conducted on a laboratory scale using a container with a recirculating aquarium by carousel system. Wastewater was taken from the discharge of intensive eel aquaculture, tropical swan mussel and *Spirogyra* sp. collected from the natural habitat and acclimatized in the laboratory before use. The study was divided into two stages: preliminary study (tropical swan mussel utilization, *Spirogyra* sp. utilization) and primary research (combination of *Spirogyra* sp. and tropical swan mussel utilization). Based on the results of the preliminary study, in the primary research were used 50 % effluent dosage, large tropical swan mussel (55.96-80.59 g), mussel weight 350 g, *Spirogyra* sp. fresh weight 9 g, and 6 days retention time.

The main study was conducted through an experiment using a randomized block design. Four treatments were tested: the tropical swan mussel treatment, filamentous algae treatment, combination treatment of filamentous algae-tropical swan mussel, and control. Three replications were done for each treatment. The main parameters that were daily measured for six days retention are Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS), Total Dissolved Solid (TDS), turbidity, ammonia (NH₃-N), nitrate (NO₃-N), orthophosphate (PO₄-P), alkalinity, the weight of *Spirogyra* sp. and tropical swan mussel. Other parameters were measured for the observation in morning and afternoon observations such as pH, temperature, DO, and light intensity. The volume of sewage sludge, proximate analysis in sewage sludge, *Spirogyra* sp. proximate analysis, and tropical swan mussel proximate analysis were analyzed at the beginning and end of treatment.

The results showed that the treatment of tropical swan mussel had the highest ability to degrade the COD (54.3% decrease), followed by treatment filamentous algae (52.4%), combination treatment filamentous algae-tropical swan mussel (51.4%), and control (49.5%). The utilization of filamentous algae (*Spirogyra* sp.) and tropical swan mussel could decrease turbidity also TSS values, increase TDS, pH, also alkalinity. The utilization of *Spirogyra* sp. and tropical swan mussel was quite effective to reduce the content of organic matter in the wastewater.

Keywords: bioremediation, organic matter, *Pilsbryconcha exilis*, *Spirogyra* sp.

© Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2014
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB

**PEMANFAATAN ALGA BERFILAMEN (*Spirogyra* sp.)
DAN KIJING LOKAL (*Pilsbryoconcha exilis*) SEBAGAI AGEN
BIOREMEDIASI LIMBAH BUDIDAYA SIDAT**

TRI APRIADI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains
pada
Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Perairan

**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2014**

Has Cipta, Peningkat, dan Pengembang
1. Di bidang teknologi sebagai salah satu pilar abdi negara dan masyarakat dan masyarakat
2. Di bidang teknologi sebagai salah satu pilar abdi negara dan masyarakat dan masyarakat
3. Di bidang teknologi sebagai salah satu pilar abdi negara dan masyarakat dan masyarakat
4. Di bidang teknologi sebagai salah satu pilar abdi negara dan masyarakat dan masyarakat
5. Di bidang teknologi sebagai salah satu pilar abdi negara dan masyarakat dan masyarakat
6. Di bidang teknologi sebagai salah satu pilar abdi negara dan masyarakat dan masyarakat
7. Di bidang teknologi sebagai salah satu pilar abdi negara dan masyarakat dan masyarakat
8. Di bidang teknologi sebagai salah satu pilar abdi negara dan masyarakat dan masyarakat
9. Di bidang teknologi sebagai salah satu pilar abdi negara dan masyarakat dan masyarakat
10. Di bidang teknologi sebagai salah satu pilar abdi negara dan masyarakat dan masyarakat



Penguji pada Ujian Tesis: Dr Ir Yusli Wardiatno, MSc

Judul Tesis : Pemanfaatan Alga Berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan Kijing Lokal (*Pilsbryoconcha exilis*) sebagai Agen Bioremediasi Limbah Budidaya Sidat

Nama : Tri Apriadi
NRP : C251110101

Disetujui oleh
Komisi Pembimbing

Dr Ir Niken TM Pratiwi, MSi
Ketua

Dr Ir Sigid Hariyadi, MSc
Anggota

Diketahui oleh

Ketua Program Studi
Pengelolaan Sumberdaya
Perairan

Dekan Sekolah Pascasarjana

Dr Ir Sigid Hariyadi, MSc

Dr Ir Dahrul Syah, MScAgr

Tanggal Ujian: 5 Mei 2014

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Mei 2013 ini ialah bioremediasi, dengan judul Pemanfaatan Alga Berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan Kijing Lokal (*Pilsbryoconcha exilis*) sebagai Agen Bioremediasi Limbah Budidaya Sidat. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Dr Ir Niken T.M. Pratiwi, MSi dan Dr Ir Sigid Hariyadi, MSc selaku komisi pembimbing, atas bantuan, bimbingan, serta nasihat yang diberikan selama penyusunan tesis ini
2. Dr Ir Yusli Wardiatno, MSc selaku penguji luar komisi dan Dr Ir Ridwan Affandi, DEA selaku penguji dari Program Studi, atas perbaikan, saran, dan nasihat yang diberikan demi penyempurnaan tesis ini
3. Institut Pertanian Bogor yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan pendidikan pada program studi Pengelolaan Sumberdaya Perairan, Sekolah Pascasarjana IPB
4. Seluruh dosen dan staf pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Perairan, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, IPB
5. Bakrie Centre Foundation yang telah memberikan bantuan dana pendidikan melalui *Bakrie Graduate Fellowship*
6. Dudi Muhammad Wildan, SPi dan Fajar Sidik, SPi serta segenap staf di Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan MSP yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini
7. Mr. Lim selaku pemilik kolam budidaya sidat atas izin pengambilan sampel air limbah, beserta segenap karyawan kolam atas bantuan pada saat pengumpulan sampel
8. Segenap rekan di Sekolah Pascasarjana IPB, khususnya di Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Perairan dan HIMMPAS IPB
9. Ayahanda Samsuri, Ibunda Juairiah, Mas Ariansyah Putra, Mas M. Meirandi, serta Adik David Setiawan atas segala doa, kasih sayang, serta perhatian yang diberikan.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Bogor, Juni 2014

Tri Apriadi

Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	35
RIWAYAT HIDUP	50

DAFTAR TABEL

1 Analisis sidik ragam RAK	9
2 Nilai pH pengamatan pagi dan siang pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryoconcha exilis</i>)	20
3 Nilai suhu air pengamatan pagi dan siang pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryoconcha exilis</i>)	20
4 Persamaan regresi antara bobot alga berfilamen dengan unsur hara (NH_4^+ , $\text{NO}_3\text{-N}$, dan $\text{PO}_4\text{-P}$) pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryoconcha exilis</i>)	23
5 Persamaan regresi antara bobot kijing lokal dengan COD, TSS, dan kekeruhan pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryoconcha exilis</i>)	24
6 Persentase perubahan nilai proksimat awal dan akhir pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryoconcha exilis</i>)	25
7 Rincian perubahan beberapa parameter yang diamati pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryoconcha exilis</i>)	27
8 Hasil biotransformasi bahan organik pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryoconcha exilis</i>)	27

DAFTAR GAMBAR

1 Skema perumusan masalah pemanfaatan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryoconcha exilis</i>) sebagai agen bioremediasi bahan organik limbah budidaya sidat	2
2 Skema akuarium dengan sistem resirkulasi: akuarium berkanal (a) dan akuarium tanpa sekat (b) pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryoconcha exilis</i>)	4
3 Limbah budidaya sidat yang diambil dari saluran pembuangan (a), Beberapa perlakuan dosis limbah yang diencerkan menggunakan akuades (b)	4

4	Kijing lokal berdasarkan kelompok ukuran: besar, sedang, dan kecil (a), Aklamatisasi kijing lokal di laboratorium (b)	5
5	Isolat alga berfilamen <i>Spirogyra</i> sp. (a), Filamen <i>Spirogyra</i> sp. (perbesaran 40 x 10) (b)	5
6	Nilai rata-rata COD pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	11
7	Nilai rata-rata kekeruhan pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	12
8	Nilai rata-rata TSS pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	13
9	Volume endapan awal dan akhir pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	13
10	Nilai rata-rata TDS pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	14
11	Nilai rata-rata alkalinitas pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	15
12	Nilai rata-rata NH ₃ -N pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	16
13	Nilai rata-rata NO ₃ -N pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	17
14	Nilai rata-rata PO ₄ pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	18
15	Nilai rata-rata DO pengamatan pagi pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	19
16	Nilai rata-rata DO pengamatan siang pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	19
17	Nilai rata-rata intensitas cahaya pengukuran pagi pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	21
18	Nilai rata-rata intensitas cahaya pengukuran siang pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	21
19	Bobot alga berfilamen <i>Spirogyra</i> sp. awal dan akhir pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing lokal (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	22
20	Bobot kijing lokal awal dan akhir pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.) dan kijing	

DAFTAR LAMPIRAN

1	Analisis beberapa parameter yang diamati selama penelitian	35
2	Proses penyiapan limbah budidaya	36
3	Proses penyiapan kijing lokal (<i>Pilsbryoconcha exilis</i>)	36
4	Proses penyiapan alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.)	37
5	Data nilai COD selama penelitian	37
6	Data nilai kekeruhan selama penelitian	38
7	Data nilai TSS selama penelitian	39
8	Data volume endapan awal dan akhir	40
9	Data nilai TDS selama penelitian	41
10	Data nilai alkalinitas selama penelitian	42
11	Data nilai NH ₃ -N selama penelitian	43
12	Data nilai NO ₃ -N selama penelitian	43
13	Data nilai PO ₄ -P selama penelitian	45
14	Data nilai DO pagi selama penelitian	45
15	Data nilai DO siang selama penelitian	46
16	Data nilai pH pagi selama penelitian	47
17	Data nilai pH siang selama penelitian	47
18	Data nilai suhu selama penelitian	48
19	Data nilai intensitas cahaya selama penelitian	48
20	Data bobot alga awal dan akhir	49
21	Data bobot kijing lokal awal dan akhir	49
22	Data hasil analisis proksimat	49

1 PENDAHULUAN

Latar Belakang

Ikan sidat (*Anguilla* sp.) merupakan ikan ekonomis penting yang saat ini menjadi komoditas ekspor dari Indonesia (KKP 2010). Upaya untuk memenuhi kebutuhan ekspor ikan sidat dilakukan melalui budidaya ikan sidat secara intensif. Salah satu hal yang dilakukan dalam budidaya ikan sidat secara intensif yaitu pemberian pakan buatan dengan kandungan protein tinggi. Kebutuhan protein pakan pada ikan sidat dewasa agar pertumbuhan maksimal sekitar 45%, serta pada suhu perairan 25°C (Afrianto dan Liviawaty 2005; Suitha dan Suhaeri 2008).

Midlen dan Redding (2000) menjelaskan bahwa dalam kegiatan budidaya, tidak keseluruhan pakan yang diberikan dapat dimanfaatkan oleh biota yang dibudidayakan. Sisa pakan akan menjadi limbah budidaya dalam bentuk ekskresi, residu pakan, dan feses (Afrianto dan Liviawaty 2005). Limbah dari kegiatan budidaya perairan umumnya berupa limbah cair yang mengandung bahan organik tinggi. Pelepasan limbah budidaya dalam konsentrasi dan kuantitas tertentu ke lingkungan dapat menyebabkan pengayaan nutrien di badan air penerima (Bureau dan Hua 2010; Akinrotimi *et al.* 2011). Hal ini berdampak negatif bagi kualitas perairan dan kelangsungan hidup biota pada badan air penerima.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah budidaya yaitu pengolahan secara biologis (bioremediasi). Bioremediasi dapat dilakukan melalui penggunaan organisme autotrof, heterotrof, atau kombinasi keduanya (Todd dan Josephson 1996). Penggunaan organisme autotrof dapat berupa tumbuhan air atau alga. *Spirogyra* sp. merupakan alga berfilamen (*filamentous algae*) yang hidup pada habitat air tawar. Penggunaan *Spirogyra* sp. dalam mengolah bahan organik dari limbah budidaya didasarkan atas capaian perkembangan biomassa yang cepat sebagai asumsi dari pemanfaatan unsur hara yang optimal, serta memiliki kemudahan dalam penanganan dan pemanennya. Eshaq *et al.* (2010) melaporkan bahwa biomassa *Spirogyra* sp. memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan melalui produksi *biofuel* (*bioethanol*). Penelitian mengenai pemanfaatan *Spirogyra* sp. sebagai agen bioremediasi umumnya dilakukan untuk penyerapan logam berat. Beberapa penelitian pemanfaatan *Spirogyra* sp. dalam bioremediasi antara lain telah dilakukan oleh Bishnoi *et al.* (2004); Singh (2007) untuk penyerapan Cu(II), Rezaee *et al.* (2006) untuk penyerapan Merkuri (Hg), Bishnoi *et al.* (2007) untuk penyerapan Chromium (Cr), Khalaf (2008) untuk limbah tekstil, Mane dan Bhosle (2012); Kumar dan Oommen (2012) untuk berbagai jenis limbah logam, serta Brahmabhatt *et al.* (2012) untuk limbah Cadmium (Cd).

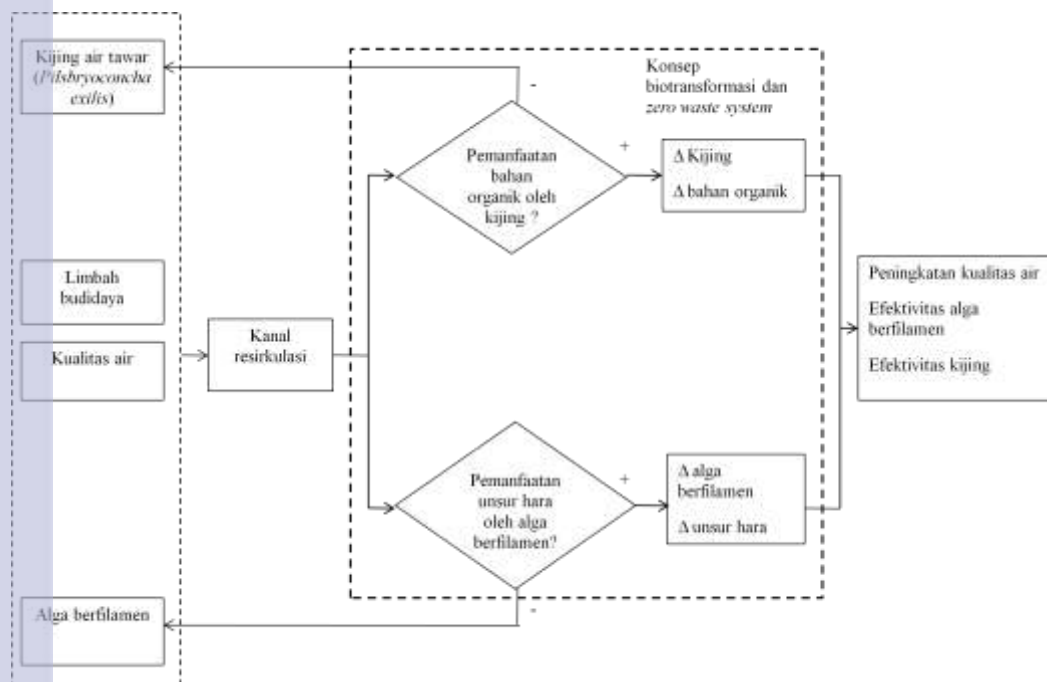
Selain memanfaatkan organisme autotrof, bioremediasi juga bisa dilakukan melalui pemanfaatan organisme heterotrof. Salah satu hewan air yang dapat digunakan dalam bioremediasi adalah kijing (*bivalvia*). Ho Kim *et al.* (2011) melakukan penelitian tentang pemanfaatan kijing dari famili unionidae pada danau yang mengalami eutrofikasi. Kijing yang digunakan adalah spesies *Anodonta woodiana* dan *Unio douglasiae*. *Anodonta woodiana* juga digunakan oleh Liu *et al.* (2014) sebagai biofilter alga toksik jenis *Microcystis* dan alga non toksik dari spesies *Scenedesmus obliquus*. Jenis kijing air tawar lain dari famili

unionidae yang dapat digunakan dalam bioremediasi adalah kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*). Penelitian yang dilakukan oleh Affandi *et al.* (2013) di Sungai Brantas, Jawa Timur, memberikan informasi bahwa kijing lokal ini sudah jarang ditemukan dan perlu informasi terkait dengan faktor yang mempengaruhi daya tahan biota yang memiliki kemampuan memfiltrasi air ini. Kemampuan memfiltrasi yang dimiliki oleh kijing lokal dijadikan acuan untuk pemanfaatan organisme ini dalam pengolahan limbah. Komarawidjaja (2006) menjelaskan bahwa kijing lokal memiliki potensi biofiltrasi pencemar organik di perairan waduk.

Mengingat masih minimnya penelitian terkait pemanfaatan alga berfilamen dalam pengolahan limbah organik serta kombinasi pemanfaatan alga berfilamen dan kijing air lokal dalam mengolah limbah organik, maka dilakukan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui potensi dari alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*) sebagai agen bioremediasi dalam mereduksi kandungan bahan organik limbah budidaya sidat.

Perumusan Masalah

Penurunan kandungan bahan organik pada limbah budidaya dapat dilihat dari analisa kualitas air dan peningkatan biomassa alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) serta biomassa kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*). Hal tersebut secara skematis disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema perumusan masalah pemanfaatan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*) sebagai agen bioremediasi bahan organik limbah budidaya sidat

Limbah budidaya intensif umumnya memiliki kandungan bahan organik dengan konsentrasi tinggi. Konsentrasi bahan organik yang tinggi tersebut dapat

berasal dari sisa pakan, sisa metabolisme biota budidaya, atau dari alga yang mati. Salah satu upaya untuk menurunkan kandungan bahan organik limbah budidaya melalui pengolahan secara biologis (bioremediasi) menggunakan organisme autotrof (fitoremediasi) dan heterotrof.

Bahan organik yang terkandung dalam limbah budidaya akan diubah oleh bakteri menjadi bahan anorganik (unsur hara). Unsur hara ini selanjutnya dimanfaatkan oleh alga berfilamen dalam fotosintesis. Bahan organik juga dimanfaatkan secara langsung oleh kijang lokal yang merupakan *filter feeder*. Pemanfaatan kembali limbah budidaya ini terutama oleh kijang lokal mengacu pada konsep bioenergetika/ biotransformasi, serta konsep *zero waste system* terutama pada sistem budidaya resirkulasi, dengan fokus pemanfaatan kembali nutrisi oleh alga pada sistem terintegrasi (Martins *et al.* 2010).

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan kandungan bahan organik limbah budidaya yang diolah secara biologi menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijang lokal (*Pilsbryoconcha exilis*).

2 METODE

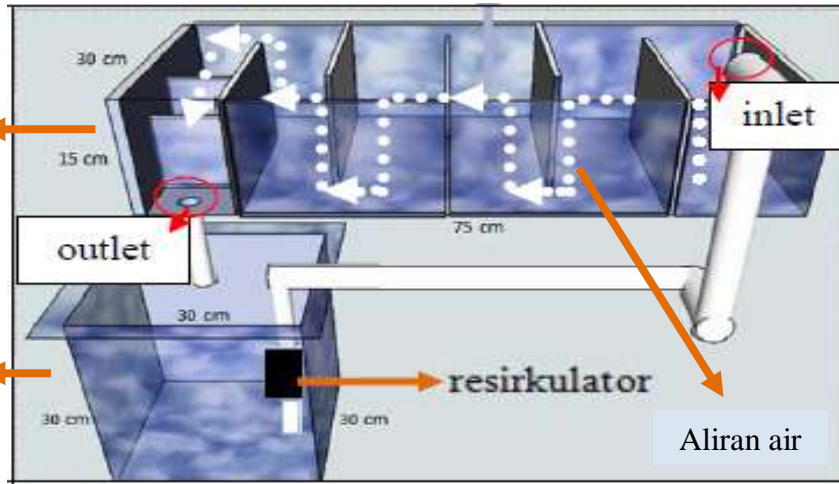
Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei-November 2013. Kegiatan penelitian dilakukan pada skala laboratorium, bertempat di Laboratorium Riset Plankton serta Laboratorium Fisika dan Kimia Lingkungan, Bagian Produktivitas dan Lingkungan Perairan, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Institut Pertanian Bogor.

Alat

Peralatan yang digunakan selama penelitian meliputi peralatan pengumpul air limbah, wadah percobaan untuk skala laboratorium, resirkulator, kain strimin, serta peralatan analisis kualitas air.

Percobaan dilakukan pada wadah berupa akuarium yang telah didesain untuk sistem resirkulasi (Gambar 1). Akuarium berkanal yang berfungsi sebagai wadah perlakuan bioremediasi berada di atas (a), sedangkan akuarium yang berfungsi sebagai wadah penampungan untuk resirkulasi berada di bawah (b). Wadah yang digunakan untuk perlakuan bioremediasi berupa akuarium yang disekat hingga membentuk kanal-kanal. Hal ini mengacu pada sistem *carousel* yang umumnya dijumpai pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL) serta mengacu pada kanal perifiton (Fovet *et al.* 2010; Nofdianto 2010). Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut di perairan.



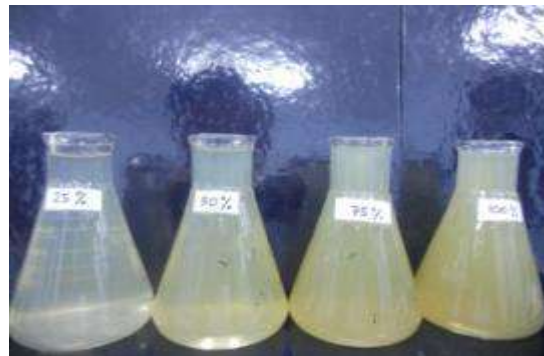
Gambar 2 Skema akuarium dengan sistem resirkulasi: akuarium berkanal (a) dan akuarium tanpa sekat (b) pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryoconcha exilis*)

Bahan

Bahan yang digunakan selama penelitian antara lain: air limbah budidaya intensif ikan sidat, alga berfilamen (*Spirogyra* sp.), kijing lokal (*Pilsbryoconcha exilis*), akuades sebagai pengencer air limbah, serta bahan-bahan kimia untuk analisis kualitas air. Beberapa bahan yang digunakan selama penelitian disajikan pada Gambar 3, 4, dan 5.



(a)



(b)

Gambar 3 Limbah budidaya sidat yang diambil dari saluran pembuangan (a), beberapa perlakuan dosis limbah yang diencerkan menggunakan akuades (b)



Gambar 4 Kijing lokal berdasarkan kelompok ukuran: besar, sedang, dan kecil (dari kiri ke kanan) (a), aklimatisasi kijing lokal di laboratorium (b)



Gambar 5 Isolat alga berfilamen *Spirogyra* sp. (a), Filamen *Spirogyra* sp. (perbesaran 40 x 10) (b)

Metode

Penelitian ini terdiri dari penelitian pendahuluan (tahap penggunaan kijing lokal dan dilanjutkan tahap penggunaan alga berfilamen) serta penelitian utama (tahap kombinasi kijing lokal dan alga berfilamen). Rincian pelaksanaan penelitian meliputi persiapan wadah, persiapan bahan uji, serta pelaksanaan penelitian pendahuluan dan penelitian utama, seperti yang dijelaskan di bawah ini.

Persiapan Wadah Penelitian

Disiapkan 16 set akuarium dengan sistem resirkulasi. Akuarium tersebut direndam dengan larutan kalium permanganat (KMnO_4) 10 ppm selama 1 jam, dengan tujuan untuk sterilisasi akuarium. Akuarium berkanal pada tahap penggunaan alga berfilamen dilengkapi dengan kain strimin berukuran $0,639 \times 0,798 \mu\text{m}$ sebagai penyekat. Hal ini bertujuan agar alga berfilamen dari jenis *Spirogyra* sp. tetap berada di akuarium berkanal (tidak ikut tersirkulasi).

Persiapan Bahan Uji

Air limbah berasal dari buangan kolam budidaya sidat di daerah Parung, Bogor. Air limbah ditampung di dalam tandon berukuran 500 L dengan tujuan untuk homogenisasi limbah. Kijing lokal dikumpulkan dari perairan Situ Gede, Bogor. Kijing diaklimatisasi sekitar dua minggu di laboratorium sebelum digunakan sebagai biota uji. Kijing lokal yang digunakan dibedakan berdasarkan kelas ukuran bobot: kecil (6,68-31,31 g), sedang (31,32-55,95 g), dan besar (55,96-80,59 g). Alga berfilamen *Spirogyra* sp. dikumpulkan dari kolam-kolam di daerah Bogor. Selanjutnya *Spirogyra* sp. diisolasi untuk mendapatkan isolat murni. Isolat *Spirogyra* sp. diaklimatisasi di laboratorium sekitar satu minggu sebelum digunakan.

Pelaksanaan

Tahap Penggunaan Kijing Lokal

Kegiatan penelitian berupa percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Perlakuan pada tahapan penelitian kijing lokal berupa perbedaan dosis limbah dan perbedaan ukuran bobot kijing lokal. Volume air yang digunakan sebanyak 36 L. Perlakuan dosis limbah yang digunakan yaitu 100% (36 L air limbah), 75% (27 L air limbah + 9 L akuades), 50% (18 L air limbah + 18 L akuades), dan 25% (9 L air limbah + 18 L akuades).

Setelah semua komponen media uji siap, akuarium diisi air limbah dengan dosis berbeda sesuai perlakuan. Pompa resirkulator dihidupkan, dengan debit rata-rata sebesar 0,014 L detik⁻¹. Selanjutnya kijing lokal dimasukkan dengan perlakuan ukuran kijing lokal berbeda (kecil, sedang, besar) pada masing-masing wadah (sesuai label perlakuan dosis limbah). Bobot total kijing lokal yang digunakan pada masing-masing perlakuan sekitar 350 g. Terdapat perlakuan kontrol (tidak ada penambahan kijing lokal) untuk setiap perlakuan dosis limbah.

Pengukuran parameter dilakukan selama delapan kali pengamatan dari 14 hari retensi. Pengamatan dilakukan pada awal perlakuan, hari ke-2 retensi, hari ke-4, hari ke-6, hari ke-8, hari ke-10, hari ke-12, serta hari ke-14 (akhir perlakuan). Parameter yang diukur antara lain yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD), kekeruhan, *Total Suspended Solid* (TSS), *Total Dissolved Solid* (TDS), amonia, serta bobot kijing lokal pada akhir pengamatan (hari ke-14).

Berdasarkan pengamatan terhadap penurunan konsentrasi bahan organik pada air limbah, perubahan kualitas air, serta perubahan bobot kijing lokal setelah perlakuan, diperoleh hasil bahwa penurunan konsentrasi bahan organik pada tahapan penelitian pendahuluan ini berlangsung efektif hingga hari ke-6. Kijing lokal berukuran kecil mampu bertahan dan memiliki pertumbuhan yang lebih baik pada limbah dengan dosis besar (75% dan 100%), sedangkan kijing lokal berukuran besar mampu bertahan dan memiliki pertumbuhan lebih baik pada dosis limbah yang lebih kecil (25% dan 50%). Kijing lokal ukuran besar mengalami peningkatan bobot pada dosis limbah 25% (penurunan bahan organik 48%) dan dosis limbah 50% (penurunan bahan organik 41%).

Tahap Penggunaan Alga Berfilamen *Spirogyra* sp.

Kegiatan penelitian berupa percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Perlakuan pada tahapan penelitian ini yaitu perbedaan dosis limbah dengan penambahan bobot *Spirogyra* sp. sebanyak 9 g pada masing-

masing perlakuan. Volume air yang digunakan sebanyak 36 L. Perlakuan dosis limbah yang digunakan yaitu 100% (36 L air limbah), 75% (27 L air limbah + 9 L akuades), 50% (18 L air limbah + 18 L akuades), dan 25% (9 L air limbah + 18 L akuades).

Setelah semua komponen media uji siap, akuarium diisi air limbah dengan dosis berbeda sesuai perlakuan. Pompa resirkulator dihidupkan, dengan debit rata-rata sebesar 0,014 L detik⁻¹. Selanjutnya dimasukkan 9 g alga berfilamen *Spirogyra* sp. Terdapat perlakuan kontrol (tidak ada penambahan *Spirogyra* sp.) untuk setiap perlakuan dosis limbah.

Pengukuran parameter dilakukan selama enam kali pengamatan dari 15 hari retensi. Pengamatan dilakukan pada awal perlakuan, hari ke-3 retensi, hari ke-6, hari ke-9, hari ke-12, serta hari ke-15 (akhir perlakuan). Parameter yang diukur antara lain yaitu COD, kekeruhan, amonia, nitrat, ortofosfat, alkalinitas, serta bobot *Spirogyra* sp. pada hari ke-7 dan pada akhir pengamatan (hari ke-15).

Setelah 15 hari retensi, diperoleh hasil bahwa penurunan konsentrasi bahan organik pada tahapan penelitian pendahuluan ini umumnya berlangsung efektif hingga hari ke-6, walaupun ada beberapa perlakuan yang masih memperlihatkan penurunan konsentrasi bahan organik hingga hari ke-9. Hingga hari ke-6, terjadi peningkatan bobot *Spirogyra* sp. pada perlakuan dosis limbah 25% (penurunan bahan organik 18%) dan dosis limbah 50% (penurunan bahan organik 36%).

Tahap Kombinasi Alga Berfilamen *Spirogyra* sp. dan Kijing Lokal

Berdasarkan hasil dari dua tahapan penelitian pendahuluan, maka untuk aplikasi kombinasi pemanfaatan alga berfilamen *Spirogyra* sp. dan kijing lokal dilakukan pada dosis limbah 50%, bobot *Spirogyra* sp. 9 g, dan kijing lokal berukuran besar (55,96-80,59 g). Kegiatan penelitian utama ini berupa percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK), dengan empat perlakuan dan tiga kali ulangan pada masing-masing perlakuan. Perlakuan tersebut yaitu kontrol, perlakuan alga berfilamen, perlakuan kijing lokal, serta perlakuan kombinasi alga berfilamen dan kijing lokal.

Setelah semua komponen media uji siap, akuarium diisi air limbah sebanyak 36 L, dengan dosis limbah 50% (18 L air limbah+18 L akuades). Pompa resirkulator dihidupkan, dengan debit rata-rata sebesar 0,014 L detik⁻¹. Selanjutnya dimasukkan 9 g *Spirogyra* sp. dan kijing lokal berukuran besar pada akuarium berkanal sesuai dengan label perlakuan. Tidak ada penambahan *Spirogyra* sp. dan kijing lokal untuk perlakuan kontrol.

Pengukuran parameter dilakukan selama tujuh kali pengamatan dari enam hari retensi. Pengukuran dilakukan pada awal percobaan, hari pertama retensi hingga hari ke enam retensi. Parameter yang diukur antara lain yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), *Total Dissolved Solid* (TDS), kekeruhan, amonia (NH₃-N), nitrat (NO₃-N), ortofosfat (PO₄-P), alkalinitas, bobot *Spirogyra* sp., dan bobot kijing lokal.

Parameter lainnya yang diukur yaitu pH, suhu, DO, dan intensitas cahaya. Pengukuran keempat parameter ini dilakukan dua kali setiap hari (pengamatan pagi dan pengamatan siang). Pengamatan pagi dilakukan pada pukul 5.30-6.00 WIB, sedangkan pengamatan siang pada pukul 13.00-13.30 WIB. Perbedaan waktu pengamatan ini dimaksudkan untuk mengetahui perubahan nilai pH, suhu, DO, dan intensitas cahaya terkait dengan perubahan keberadaan cahaya matahari

yang akhirnya berpengaruh terhadap fluktuasi kualitas air. Volume endapan limbah diukur di awal dan di akhir pengamatan.

Analisis proksimat dilakukan terhadap endapan limbah, alga berfilamen *Spirogyra* sp., serta kijang lokal. Analisis proksimat ini dilakukan untuk mengetahui perubahan komposisi kimiawi berupa kadar abu, kadar air, protein, serta karbohidrat sebelum dan setelah retensi. Rincian parameter yang diukur disajikan pada Lampiran 1.

Analisis Data

Persentase Fase Tingkat Perubahan Nilai Beberapa Parameter Lingkungan

Perubahan nilai beberapa parameter lingkungan dihitung untuk mengetahui persentase perubahan yang terjadi terhadap beberapa nilai parameter lingkungan pada awal pengamatan dan pada akhir pengamatan, dengan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ perubahan} = \frac{a - b}{a} \times 100$$

Keterangan:

a = nilai awal parameter

b = nilai akhir parameter (setelah diolah)

Rancangan Acak Kelompok (RAK)

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Empat media yang berbeda dengan tiga ulangan sebagai perlakuan dan jumlah hari pengamatan sebagai kelompok.

Analisis data menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) ditampilkan dalam bentuk tabel sidik ragam (tabel anova). Uji lanjut BNT (Beda Nyata Terkecil) dilakukan untuk melihat perlakuan yang memberikan pengaruh yang berbeda nyata. Model linier aditif dari rancangan kelompok dapat dituliskan sebagai berikut (Mattjik dan Sumertajaya 2000).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Keterangan:

i = perlakuan (i = 1,2,3....)

j = kelompok waktu (j = 1,2,3,...)

Y_{ij} = pengamatan pada perlakuan ke-i kelompok waktu ke-j

μ = rata-rata umum

τ_i = pengaruh perlakuan ke-i

β_j = pengaruh kelompok waktu ke-j

ε_{ij} = pengaruh acak pada perlakuan ke-i kelompok waktu ke-j

Analisis data menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) biasanya disajikan dalam bentuk tabel sidik ragam atau yang lebih dikenal dengan sebutan tabel anova (Tabel 1).

Tabel 1 Analisis sidik ragam RAK

Sumber keragaman	Derajat Bebas (DB)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F _{hitung}	F _{tabel}
Perlakuan	t-1	JKP	KTP	KTP/KTS	F(0,05;DBP;DBS)
Kelompok	r-1	JKK	KTK	KTK/KTS	
Sisa	(t-1)(r-1)	JKS	KTS		
Total	tr-1	JKT			

Hipotesis yang dapat diuji dari rancangan di atas yaitu pengaruh perlakuan terhadap penurunan bahan organik serta terhadap beberapa parameter kualitas air. Bentuk hipotesis yang dapat diuji adalah sebagai berikut:

Pengaruh perlakuan:

H₀ : tidak ada τ_i yang memberikan hasil berbeda nyata dari seluruh perlakuan.

H₁ : minimal ada satu τ_i yang memberikan hasil berbeda nyata dari seluruh perlakuan.

Pengaruh kelompok waktu pengamatan:

H₀ : tidak ada β_j (kelompok pengamatan) yang memberikan hasil berbeda nyata dari seluruh perlakuan.

H₁ : minimal ada satu β_j (kelompok pengamatan) yang memberikan hasil berbeda nyata dari seluruh perlakuan.

Penarikan kesimpulan dilihat dari tabel anova. Kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

- Jika nilai $F_{hitung} > \text{nilai } F_{tabel}$ maka tolak H₀, berarti minimal ada satu perlakuan yang memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada taraf kepercayaan 0,05 ($P < 0,05$).
- Jika nilai $F_{hitung} < \text{nilai } F_{tabel}$ maka gagal tolak H₀, berarti tidak ada perlakuan yang memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada taraf kepercayaan 0,05 ($P > 0,05$).

Untuk melihat perlakuan yang memberikan pengaruh yang berbeda nyata, maka dilakukan uji lanjut BNT (Beda Nyata Terkecil).

Uji Lanjut BNT (Beda Nyata Terkecil)

Hipotesis dari perbandingan metode BNT adalah sebagai berikut: H₀: $\mu_1 = \mu_1$ dan H₁: $\mu_1 \neq \mu_1$, dimana μ = rata-rata umum. Nilai kritis BNT dinyatakan dengan rumus:

$$BNT = t(\alpha/2, DBS) \times \sqrt{\frac{2KTS}{n}}$$

Keterangan:

BNT = beda nyata terkecil

$t_{\alpha/2}$ = nilai t tabel pada selang kepercayaan $\alpha/2$ ($\alpha = 0,5$)

DBS = derajat bebas sisa

KTS = kuadrat tengah sisa

n = jumlah ulangan

Jika masing-masing perlakuan memiliki ulangan yang sama, maka untuk semua pasangan perlakuan hanya diperlukan satu nilai BNT. Kriteria pengambilan keputusannya adalah sebagai berikut: jika beda absolut dari dua perlakuan lebih besar dari nilai BNT ($|Y_i - Y_j| > BNT$) maka dapat disimpulkan bahwa kedua perlakuan tersebut berbeda nyata pada taraf α .

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

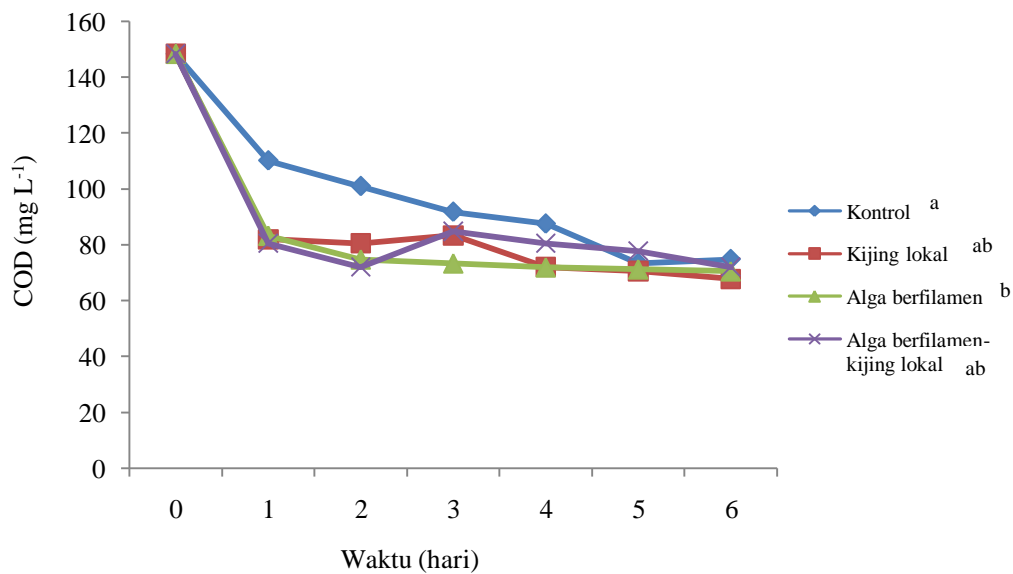
Penurunan Konsentrasi Bahan Organik

Air limbah budidaya sidat mengandung bahan organik yang terdiri dari unsur-unsur yang mudah terurai. Bahan organik ini dapat berasal dari sisa pakan dan feses ikan sidat yang dibudidayakan. Analisis proksimat terhadap pakan ikan sidat pada kolam budidaya yang limbahnya dipakai sebagai media penelitian, memberikan hasil bahwa pakan tersebut memiliki kandungan protein dan karbohidrat yang cukup tinggi, dengan karakteristik sebagai berikut: kadar air 10,66%, kadar abu 14,46%, protein 34,07%, lemak 4,42%, serta karbohidrat 36,39% (3,53% serat kasar dan 32,86% bahan ekstrak tanpa nitrogen/ BETN). Selanjutnya juga dilakukan analisis terhadap endapan limbah budidaya sidat, dengan karakteristik sebagai berikut: kadar air 73,84%, kadar abu 21,55%, protein 1,06%, lemak 0,35%, serta karbohidrat 3,20% (2,09% serat kasar dan 1,11% BETN).

Bahan organik yang terkandung dalam limbah budidaya umumnya akan didekomposisi oleh mikroorganisme melalui proses oksidasi, menjadi bahan yang lebih sederhana dan unsur hara. Jumlah perubahan bahan organik yang terdekomposisi dapat dilihat dari perubahan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD). Hasil yang didapatkan selama enam hari retensi memperlihatkan adanya penurunan kandungan bahan organik limbah budidaya. Perubahan nilai COD selama penelitian disajikan pada Gambar 6 dan Lampiran 5.

Berdasarkan Gambar 6 diketahui bahwa pola penurunan bahan organik terjadi pada semua perlakuan. Perlakuan kijing lokal memiliki penurunan nilai COD tertinggi pada akhir pengamatan (54,3%), diikuti perlakuan alga berfilamen (52,4%), perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal (51,4%), dan kontrol (49,5%). Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata antar perlakuan ($p=0,0048$). Perlakuan alga berfilamen memberikan hasil berbeda nyata dengan kontrol.

Penurunan bahan organik secara drastis terjadi pada awal percobaan, yaitu dari hari ke-0 hingga hari ke-1 retensi. Setelah hari ke-2 retensi, mulai terjadi fluktuasi nilai COD. Nilai COD pada perlakuan kijing lokal serta perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal mengalami peningkatan dari hari ke-2 retensi hingga hari ke-3 retensi. Hingga hari ke-2, penurunan COD pada perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal mencapai 51,4%. Nilai penurunan COD ini sama dengan hasil yang dicapai pada hari ke-6 (hari terakhir retensi).



Gambar 6 Nilai rata-rata COD pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryococha exilis*)

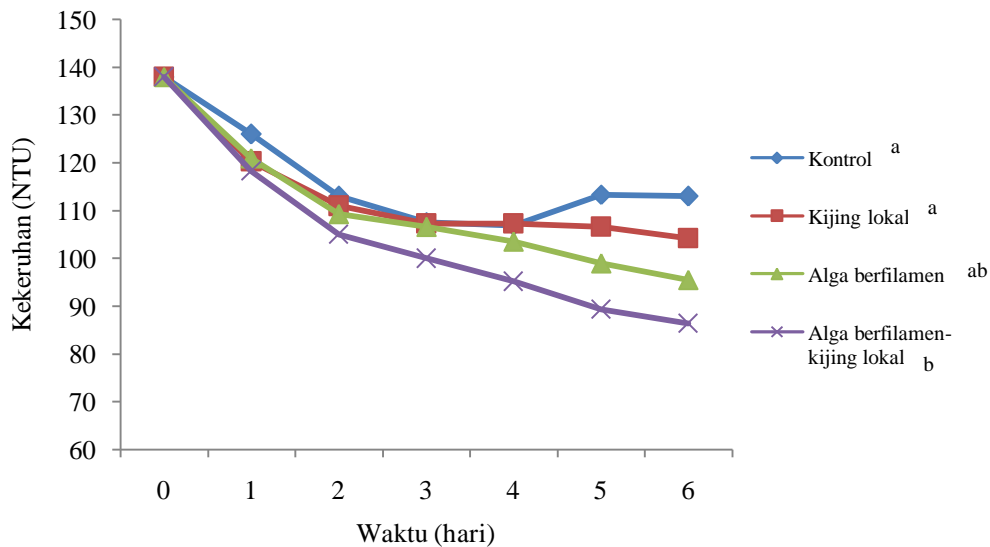
Nilai COD mengalami peningkatan pada perlakuan dengan penambahan kijing lokal (perlakuan kijing lokal serta perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal). Hal ini menandakan bahwa keberadaan kijing lokal memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai COD. Penurunan nilai COD selain akibat dekomposisi bahan organik oleh bakteri, juga diduga akibat adanya filtrasi yang dilakukan oleh kijing lokal. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Komarawidjaja (2006), bahwa kijing lokal mampu menurunkan bahan organik yang terdapat di perairan.

Peningkatan nilai COD selama penelitian diduga akibat adanya penurunan kemampuan kijing lokal dalam mereduksi bahan organik, sedangkan aktivitas ekskresi tetap berlangsung. Kijing lokal tidak hanya mampu menurunkan bahan organik tetapi juga menghasilkan bahan organik berupa feses. Hal lain yang dapat menyebabkan peningkatan COD adalah keberadaan filamen alga yang tua dan mati. Hal ini yang diduga menjadi penyebab peningkatan bahan organik pada perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal jumlahnya lebih banyak bila dibandingkan dengan perlakuan lainnya.

Perubahan Kualitas Air

Kekeruhan

Secara umum, nilai kekeruhan menunjukkan pola penurunan dari awal hingga akhir perlakuan. Rataan nilai kekeruhan disajikan pada Gambar 7. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata antar perlakuan ($p=0,0004$). Perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal berbeda nyata dengan kontrol dan perlakuan kijing lokal (Lampiran 6).



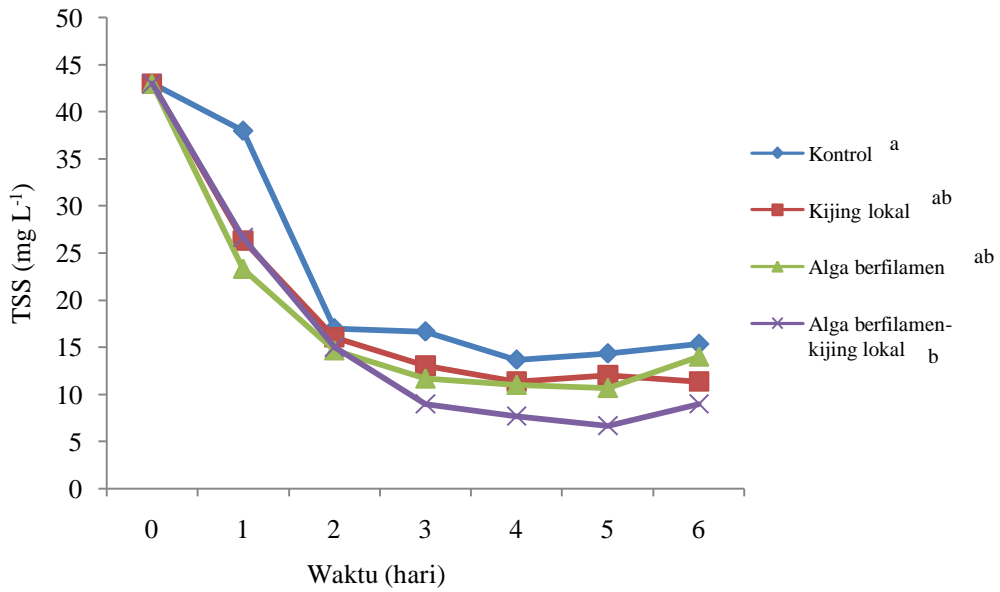
Gambar 7 Nilai rata-rata kekeruhan pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryoconcha exilis*)

Perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal memiliki nilai penurunan kekeruhan terbesar hingga akhir pengamatan (37,4%), diikuti perlakuan alga berfilamen (30,8%), perlakuan kijing lokal (24,5%), dan kontrol (18,1%). Penurunan nilai kekeruhan selain disebabkan adanya peran kijing air lokal dalam mereduksi bahan organik melalui kemampuan filtrasi, juga diduga dari proses pengendapan pada akuarium bersekat (sistem *carrousel*). Keberadaan koloni alga berfilamen *Spirogyra* sp. juga menjadi perangkap bagi bahan-bahan tersuspensi pada air limbah yang digunakan selama penelitian.

Padatan Tersuspensi Total (*Total Suspended Solid, TSS*)

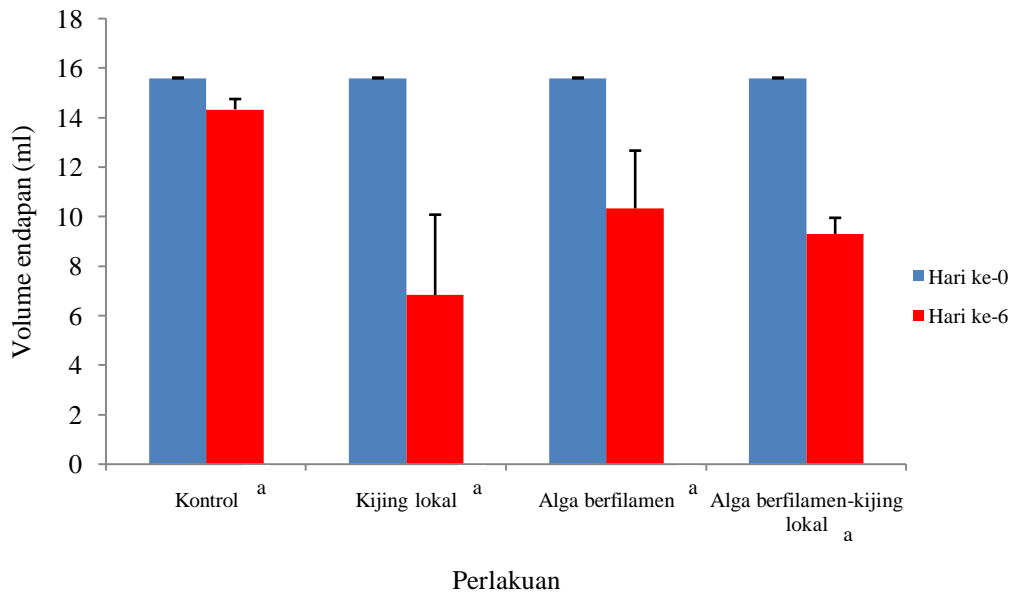
Komponen penyusun TSS pada limbah budidaya sidat terutama berasal dari sisa pakan, feses, serta lumpur dari kolam budidaya. Penurunan nilai TSS umumnya terjadi mulai dari awal percobaan hingga hari ke-5, selanjutnya mengalami peningkatan hingga hari ke-6 (Gambar 8). Perlakuan kijing lokal mengalami peningkatan TSS mulai hari ke-4 retensi, lebih awal dibandingkan perlakuan lainnya. Peningkatan nilai TSS ini diduga berasal dari feses kijing lokal. Peningkatan TSS yang terjadi pada perlakuan penggunaan alga berfilamen diduga akibat adanya filamen dari *Spirogyra* sp. yang mati.

Perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal memiliki nilai penurunan TSS terbesar hingga di akhir pengamatan (79,1%), diikuti perlakuan kijing lokal (73,6%), perlakuan alga berfilamen (67,4%), serta kontrol (64,3%). Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata antar perlakuan ($p=0,0019$). Perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal berbeda nyata dengan kontrol (Lampiran 7). Selama enam hari pengamatan, diketahui bahwa penurunan TSS tertinggi terjadi di hari ke-5 pada perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal (penurunan sebesar 84,5%).



Gambar 8 Nilai rata-rata TSS pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*)

Penurunan nilai TSS yang terjadi selama penelitian juga berkaitan dengan hasil yang diperoleh dari pengukuran volume endapan limbah di awal dan di akhir pengamatan. Terjadi penurunan volume endapan dari awal hingga akhir pengamatan (Gambar 9).

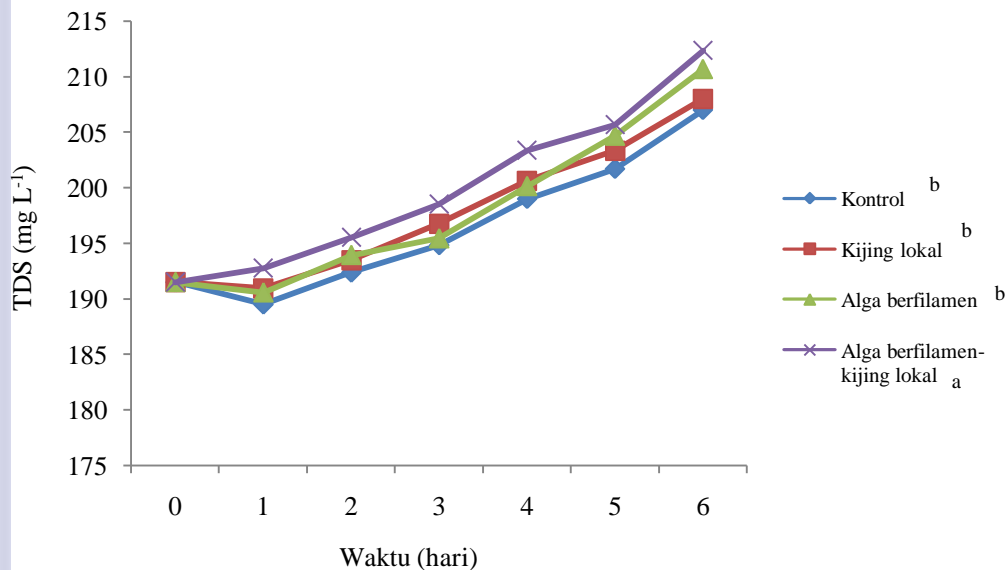


Gambar 9 Volume endapan awal dan akhir pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*)

Penurunan volume endapan tertinggi terjadi pada perlakuan kijing lokal (56,2%), diikuti perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal (40,4%), perlakuan alga berfilamen (33,8%), lalu kontrol (8,1%) (Lampiran 8). Terdapat perbedaan perlakuan yang memberikan hasil penurunan terbesar terhadap nilai TSS dan nilai volume endapan. Perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal memberikan penurunan nilai TSS terbesar di akhir pengamatan, diikuti perlakuan kijing lokal. Hasil ini berkebalikan dengan nilai akhir pada penurunan volume endapan. Perlakuan kijing lokal mampu menurunkan volume endapan lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan kijing lokal di dasar perairan cukup efektif dalam menurunkan endapan melalui kemampuan filtrasi kijing tersebut. Keberadaan filamen *Spirogyra* yang tua dan mati dapat menjadi pemicu penambahan volume endapan di dasar perairan.

Padatan Terlarut Total (*Total Dissolved Solid, TDS*)

Nilai TDS yang mencerminkan banyaknya jumlah keseluruhan partikel yang terlarut pada suatu perairan, memperlihatkan pola peningkatan dari waktu ke waktu selama pengamatan (Gambar 10). Peningkatan nilai TDS tertinggi terjadi pada perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal (9,8%), diikuti perlakuan alga berfilamen (9,1%), perlakuan kijing lokal (7,9%), lalu kontrol (7,5%).



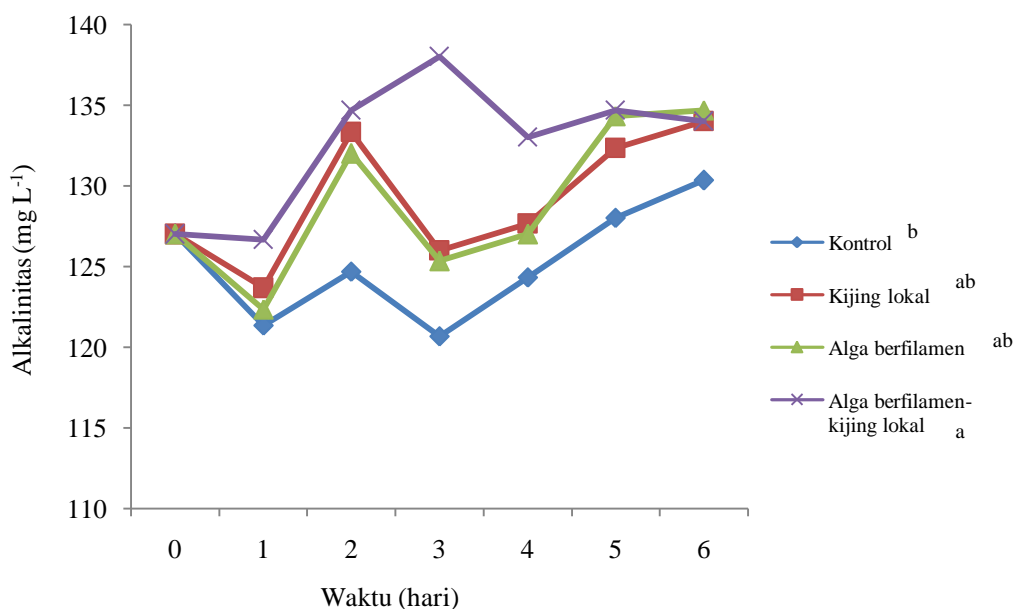
Gambar 10 Nilai rata-rata TDS pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*)

Peningkatan nilai TDS selama penelitian dapat disebabkan adanya proses pemecahan bahan organik yang awalnya merupakan padatan tersuspensi menjadi partikel berukuran lebih kecil. Nilai TDS yang cenderung meningkat diduga karena keberadaan unsur hara sebagai hasil mineralisasi bahan organik. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata antar perlakuan

($p=0,00002$). Perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal memberikan hasil berbeda nyata terhadap perlakuan lainnya (Lampiran 9).

Alkalinitas

Nilai alkalinitas memperlihatkan pola peningkatan dari waktu ke waktu selama pengamatan. Rataan nilai alkalinitas selama pengamatan disajikan pada Gambar 11 dan Lampiran 10. Berdasarkan Gambar 11, dapat diketahui bahwa nilai alkalinitas pada awalnya mengalami penurunan dari hari ke-0 hingga hari ke-1 retensi. Selanjutnya nilai alkalinitas mulai mengalami peningkatan hingga hari ke-2, lalu berfluktuasi hingga hari ke-6 retensi. Peningkatan nilai alkalinitas ini seiring dengan peningkatan nilai pH (Lampiran 16 dan 17). Dekomposisi bahan organik air limbah yang menghasilkan bahan anorganik, salah satunya dalam bentuk ion-ion karbonat (CO_3^{2-}) dan bikarbonat (HCO_3^-) juga diduga menjadi penyebab meningkatnya nilai alkalinitas selama penelitian. Peningkatan nilai pH selama penelitian menyebabkan terjadinya peningkatan CO_3^{2-} sebagai salah satu komponen penyusun alkalinitas di perairan, disamping HCO_3^- (Boyd 1988).



Gambar 11 Nilai rata-rata alkalinitas pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryoconcha exilis*)

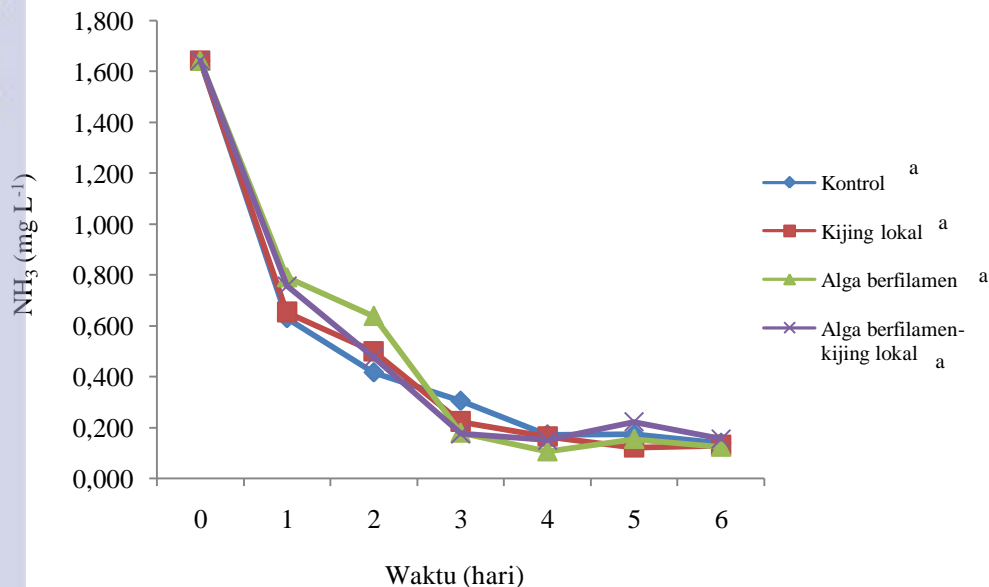
Pola peningkatan nilai alkalinitas yang terjadi selama waktu pengamatan dapat menjadi acuan bahwa terjadi peningkatan kualitas air selama proses pengolahan air limbah. Hal ini dapat dilihat bahwa secara keseluruhan nilai alkalinitas pada perlakuan penggunaan agen bioremediasi selalu lebih tinggi dari perlakuan kontrol.

Pola peningkatan nilai alkalinitas yang cukup tinggi diperlihatkan oleh perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal. Hal ini setidaknya dapat memberikan gambaran bahwa penambahan kedua agen bioremediasi tersebut memberikan hasil peningkatan kualitas air yang cenderung lebih baik dari

perlakuan yang hanya memanfaatkan salah satu agen bioremediasi saja. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata antar perlakuan ($p=0,0008$). Perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal memberikan hasil berbeda nyata terhadap kontrol (Lampiran 10).

Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Amonia yang berada di media penelitian dapat berasal dari senyawa ekstraseluler (limbah budidaya) yang mengandung senyawa nitrogen organik, dari sel-sel bakteri selama respirasi sel, feses kijing lokal, serta filamen *Spirogyra* sp. yang tua dan mati. Perubahan nilai amonia disajikan pada Gambar 12 dan Lampiran 11.

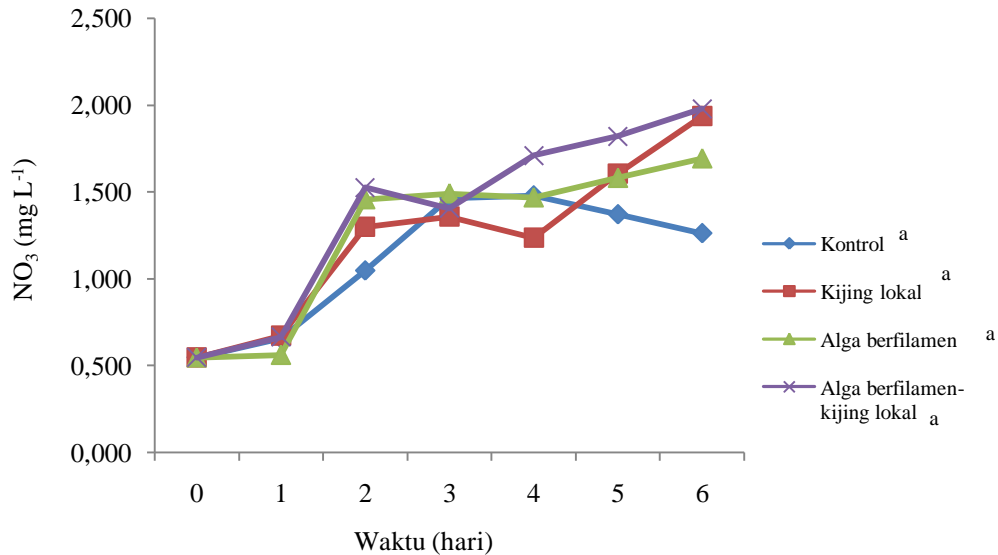


Gambar 12 Nilai rata-rata $\text{NH}_3\text{-N}$ pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*)

Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat bahwa nilai amonia mengalami penurunan signifikan dari awal perlakuan hingga hari ke-1 retensi. Selanjutnya nilai amonia turun secara perlahan hingga hari ke-4. Penurunan nilai amonia ini diduga adanya perubahan amonia menjadi nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) dan nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) melalui proses nitrifikasi, serta adanya pemanfaatan oleh alga berfilamen *Spirogyra* sp. Nilai amonia mulai mengalami peningkatan dan berfluktuasi mulai hari ke-4 hingga hari ke-6. Peningkatan amonia ini diduga akibat akumulasi hasil dekomposisi bahan organik limbah budidaya yang banyak mengandung senyawa nitrogen (protein). Peningkatan amonia juga dapat disebabkan oleh kegiatan ekskresi dari kijing lokal. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata antar perlakuan ($p=0,7813$).

Nitrat (NO₃-N)

Nitrat merupakan bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Perubahan nilai nitrat selama penelitian disajikan pada Gambar 13 dan Lampiran 12.



Gambar 13 Nilai rata-rata NO₃-N pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryococha exilis*)

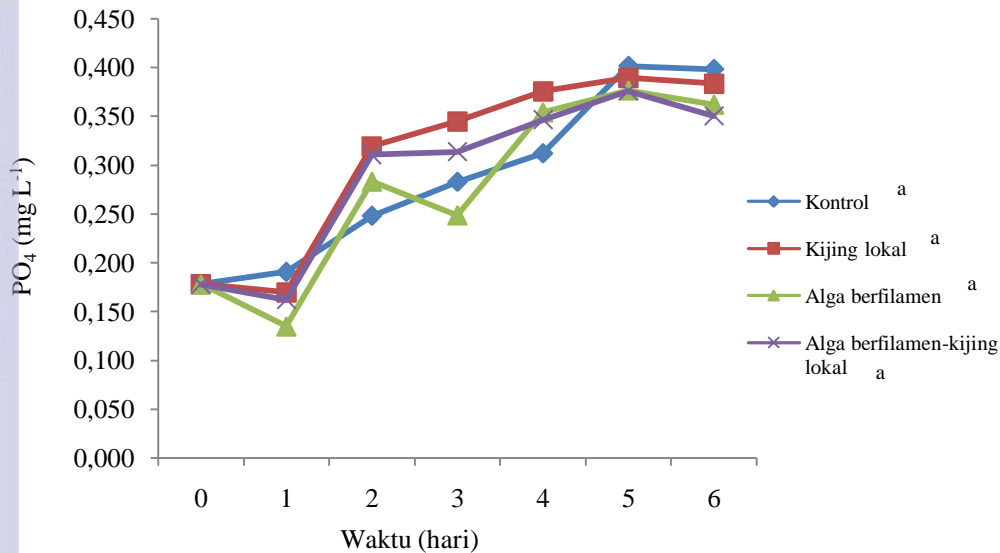
Berdasarkan Gambar 13 dapat dilihat bahwa pada perlakuan kontrol, nilai nitrat mengalami peningkatan dari waktu ke waktu. Hal ini diduga karena terjadi dekomposisi bahan organik (nitrogen) menjadi nitrat. Nitrat pada perlakuan kontrol tidak dimanfaatkan lebih lanjut, sehingga terjadi akumulasi nitrat. Nitrat pada perlakuan penambahan *Spirogyra* sp. juga mengalami peningkatan setelah hari ke-1 retensi. Hal ini berarti nitrat berada dalam jumlah berlebih, sehingga diduga tidak dimanfaatkan oleh alga berfilamen *Spirogyra* sp. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata antar perlakuan ($p=0,05$).

Ortofosfat (PO₄-P)

Fosfor merupakan faktor pembatas di perairan tawar. Fosfor yang dimanfaatkan oleh tumbuhan air adalah fosfor anorganik, berupa ortofosfat. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata antar perlakuan ($p=0,1205$). Rataan nilai ortofosfat selama penelitian disajikan pada Gambar 14 dan Lampiran 13.

Berdasarkan Gambar 14 diketahui bahwa untuk perlakuan agen bioremediasi kijing lokal dan alga berfilamen, nilai ortofosfat mengalami penurunan dari hari ke-0 hingga hari ke-1. Hal ini diduga bahwa ortofosfat segera dimanfaatkan oleh alga berfilamen *Spirogyra* sp. dalam proses fotosintesis. Selanjutnya terjadi peningkatan ortofosfat yang cukup signifikan dari hari ke-1 hingga hari ke-2. Peningkatan ini diduga sebagai hasil degradasi bahan organik limbah budidaya sidat. Pola peningkatan nilai ortofosfat berlangsung hingga akhir pengamatan. Terjadinya peningkatan nilai ortofosfat ini diduga karena akumulasi

bahan anorganik sebagai hasil degradasi bahan organik yang ada. Adanya fluktuasi nilai ortofosfat terutama pada perlakuan alga berfilamen dan perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal menandakan bahwa ortofosfat yang ada dimanfaatkan oleh *Spirogyra* sp.



Gambar 14 Nilai rata-rata PO_4 -P pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*)

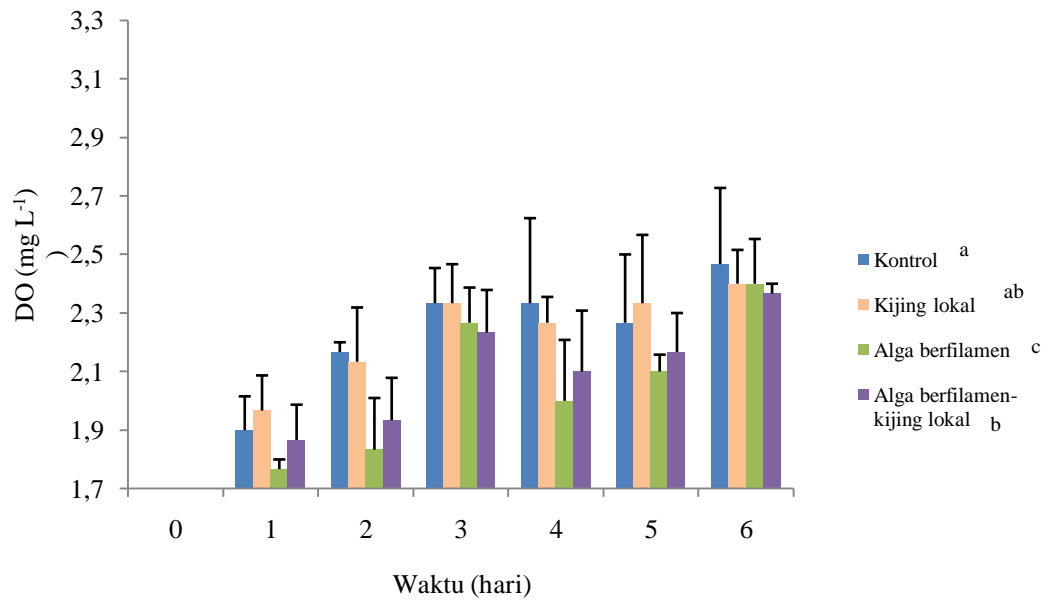
Bila kadar ortofosfat dalam air rendah ($<0,01 \text{ mg L}^{-1}$) maka pertumbuhan fitoplankton dan organisme autotrof lainnya akan terhambat. Senyawa ortofosfat merupakan faktor pembatas di perairan bila kadarnya $<0,009 \text{ mg L}^{-1}$. Kisaran ortofosfat optimum sebesar $0,09\text{-}1,80 \text{ mg L}^{-1}$ (Boyd 1988).

Kondisi Beberapa Parameter Lingkungan

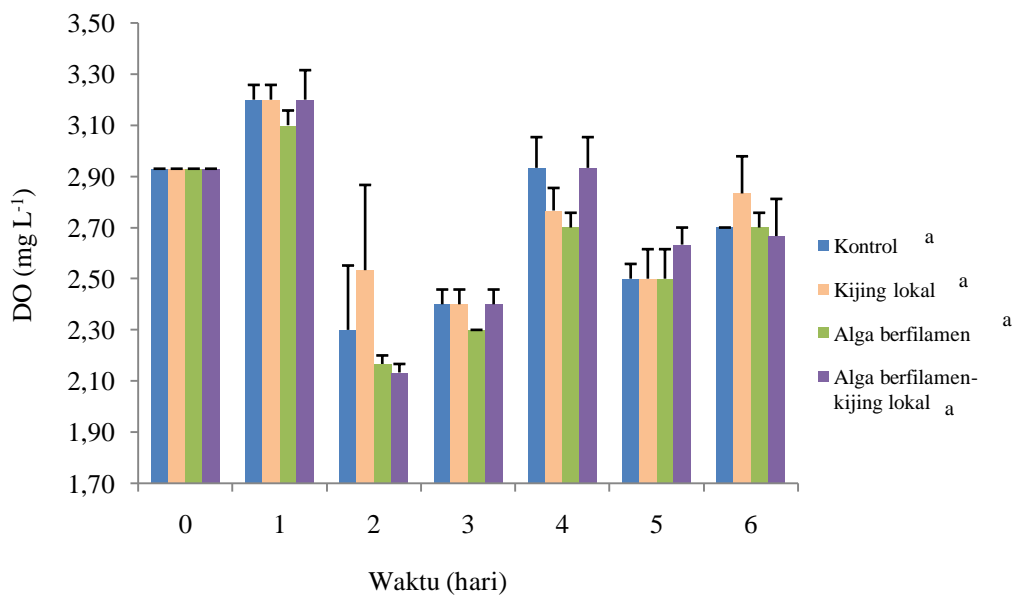
Parameter lingkungan yang diamati selama penelitian meliputi oksigen terlarut (*Dissolved oxygen/ DO*), pH, suhu air, serta intensitas cahaya. Rataan nilai DO pada pengukuran pagi dan siang berturut-turut disajikan pada Gambar 15 dan Gambar 16.

Rataan nilai DO pada pengukuran pagi berkisar antara $1,77\text{-}2,47 \text{ mg L}^{-1}$ (Gambar 15). Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata antar perlakuan ($p=0,0002$). Perlakuan yang berbeda nyata adalah kontrol dengan perlakuan alga berfilamen dan perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal serta perlakuan kijing lokal dengan perlakuan alga berfilamen (Lampiran 14).

Berdasarkan Gambar 16 dan Lampiran 15 dapat diketahui bahwa nilai DO rata-rata hasil pengukuran siang berkisar antara $2,13\text{-}3,20 \text{ mg L}^{-1}$. Hasil analisis statistik menunjukkan tidak ada perbedaan nyata antar perlakuan ($p=1,5833$). Nilai DO siang memiliki kisaran yang lebih tinggi dibandingkan DO pagi. Hal ini diduga akibat penambahan oksigen sebagai hasil fotosintesis.



Gambar 15 Nilai rata-rata DO pengamatan pagi pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*)



Gambar 16 Nilai rata-rata DO pengamatan siang pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*)

Rentang nilai pH pengamatan pagi dan siang selama penelitian disajikan pada Tabel 2. Perubahan nilai pH menunjukkan pola peningkatan dari hari ke hari selama pengamatan (Lampiran 16 dan 17).

Tabel 2 Nilai pH pengamatan pagi dan siang pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryoconcha exilis*)

Perlakuan	Kisaran pH	
	Pagi	Siang
Kontrol	6,33-6,81	6,43-6,96
Kijing lokal	6,44-6,80	6,53-6,98
Alga berfilamen	6,44-6,79	6,53-6,98
Alga berfilamen-kijing lokal	6,43-6,77	6,53-6,97

Nilai pH pengukuran siang hari lebih tinggi dibandingkan nilai pH pengukuran pagi hari. Hal ini disebabkan pada siang hari terjadi fotosintesis oleh alga berfilamen *Spirogyra* sp. yang menghasilkan oksigen (O_2). Peningkatan O_2 dan berkurangnya karbondioksida (CO_2) di perairan dapat menyebabkan peningkatan nilai pH.

Nilai pH pada perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal umumnya memiliki nilai terendah pada pengukuran pagi selama pengamatan dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini diduga akibat keberadaan *Spirogyra* sp. dan kijing lokal yang memanfaatkan oksigen lebih banyak dibandingkan perlakuan lainnya, sehingga DO menurun dan CO_2 meningkat. Nilai pH tertinggi pada pengukuran siang didominasi oleh perlakuan alga berfilamen. Hal ini diduga akibat adanya peningkatan DO sebagai hasil fotosintesis *Spirogyra* sp. Nilai pH yang terukur cukup mendukung untuk pertumbuhan kijing lokal. Komarawidjaja (2006) menyatakan bahwa kijing lokal mampu bertahan pH antara 4,8-9,8.

Kisaran nilai suhu air pengamatan pagi 24,6-26,2 °C, sedangkan pada pengamatan siang hari 27,0-29,5 °C. Kisaran nilai suhu air pengamatan pagi dan siang disajikan pada Tabel 3. Kisaran nilai suhu air harian serta nilai suhu minimum dan maksimum disajikan pada Lampiran 18.

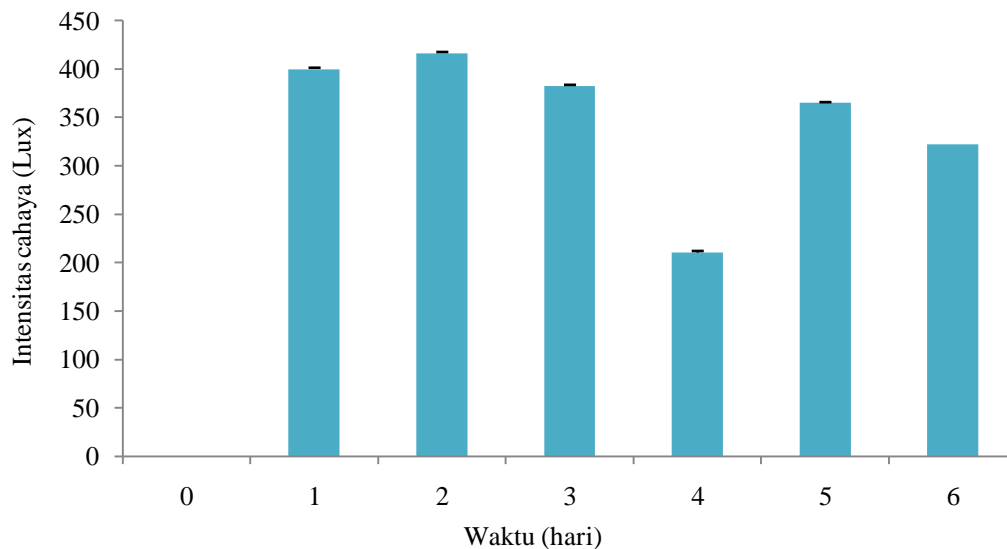
Tabel 3 Nilai suhu air pengamatan pagi dan siang pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryoconcha exilis*)

Perlakuan	Kisaran suhu air	
	Pagi	Siang
Kontrol	24,6-26,2 °C	27,0-29,3 °C
Kijing lokal	24,6-26,2 °C	27,1-29,5 °C
Alga berfilamen	24,6-26,0 °C	27,0-29,1 °C
Alga berfilamen-kijing lokal	24,6-26,1 °C	27,0-29,1 °C

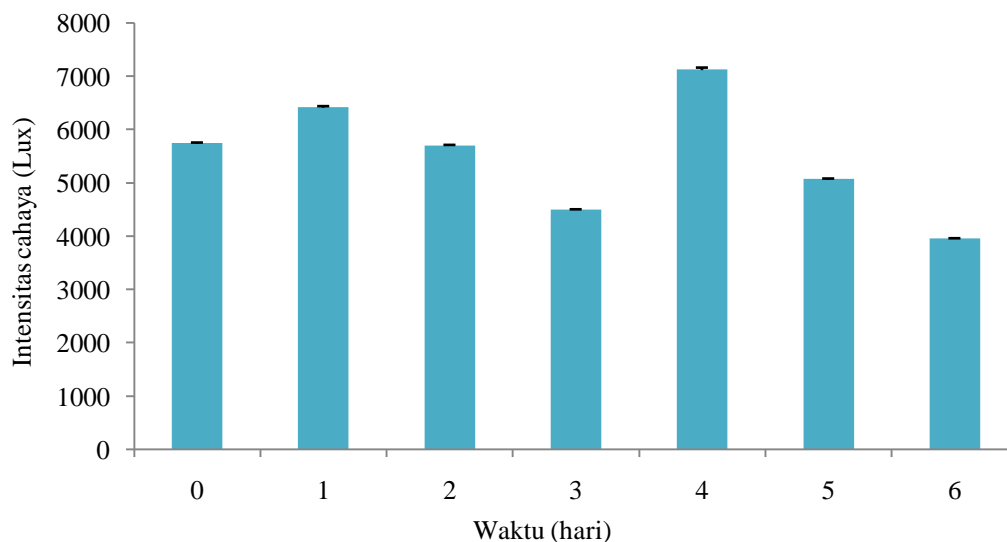
Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa kisaran suhu air pagi dan siang selama pengamatan ini cukup mendukung kehidupan *Spirogyra* sp. dan kijing lokal. Kijing lokal mampu bertahan hidup pada kisaran suhu air 11-29 °C, serta mampu bertahan pada kondisi kekurangan oksigen (Komarawidjaja 2006).

Kisaran nilai rata-rata intensitas cahaya yang terukur selama enam hari retensi pada pengamatan pagi 210,4-416,4 lux. Nilai intensitas cahaya minimum sebesar 197,9 lux dan nilai intensitas maksimum sebesar 433,0 lux (Gambar 17). Intensitas cahaya pada pengamatan siang memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pengamatan pagi (Lampiran 19). Hal ini disebabkan peningkatan jumlah intensitas matahari.

Nilai rata-rata intensitas cahaya pengukuran pagi dan siang berturut-turut disajikan pada Gambar 17 dan Gambar 18.



Gambar 17 Nilai rata-rata intensitas cahaya pengukuran pagi pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijang lokal (*Pilsbryoconcha exilis*)

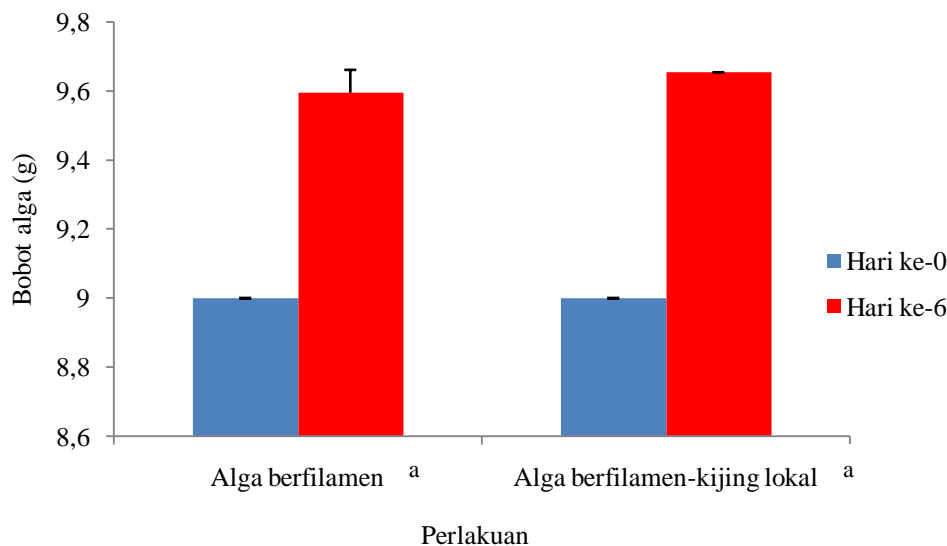


Gambar 18 Nilai rata-rata intensitas cahaya pengukuran siang pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijang lokal (*Pilsbryoconcha exilis*)

Kisaran nilai rata-rata intensitas cahaya yang terukur pada pengamatan siang 3951,7-7117,6 lux. Nilai intensitas cahaya minimum sebesar 3800 lux dan nilai intensitas maksimum sebesar 7720 lux (Gambar 18). Kisaran intensitas cahaya (terutama pada siang hari) sudah masuk ke dalam rentang persyaratan pertumbuhan alga untuk kelompok Chlorophyta, yaitu sekitar 500-750 ft cd atau setara dengan 5382-8073 lux (Ryther 1956).

Perubahan Bobot Alga Berfilamen *Spirogyra* sp.

Setelah enam hari retensi terjadi peningkatan bobot *Spirogyra* sp., baik pada perlakuan alga berfilamen maupun perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal. Hal ini menandakan bahwa terjadi pertumbuhan *Spirogyra* sp. selama penelitian berlangsung. Bobot *Spirogyra* sp. pada perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal bertambah 7,3% dan pada perlakuan alga berfilamen bertambah 6,6% dari bobot awal pada hari ke-0. Peningkatan bobot *Spirogyra* sp. selama pengamatan disajikan pada Gambar 19 dan Lampiran 20.



Gambar 19 Bobot alga berfilamen *Spirogyra* sp. awal dan akhir pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryoconcha exilis*)

Berdasarkan Gambar 19 diketahui bahwa perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal memiliki peningkatan bobot *Spirogyra* sp. yang sedikit lebih besar dibandingkan perlakuan alga berfilamen saja. Hal ini diduga bahwa ketersediaan unsur hara (terutama nitrat dan ortofosfat) pada perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal lebih tinggi, serta fluktuasi harian unsur hara tersebut cenderung lebih stabil bila dibandingkan dengan perlakuan kijing. Nilai alkalinitas yang lebih tinggi pada perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal diduga berdampak pada peningkatan kualitas perairan serta dapat menjaga kondisi perairan menjadi lebih stabil.

Pertumbuhan alga berkaitan erat dengan keberadaan nutrisi di perairan. Kaitan antara perubahan unsur hara berupa nitrogen anorganik (ammonium/ NH_4^+ , nitrat/ $\text{NO}_3\text{-N}$) serta fosfor anorganik ($\text{PO}_4\text{-P}$) dengan perubahan bobot alga berfilamen disajikan dalam suatu persamaan regresi pada Tabel 4.

Tabel 4 Persamaan regresi antara bobot alga berfilamen dengan unsur hara (NH_4^+ , $\text{NO}_3\text{-N}$, dan $\text{PO}_4\text{-P}$) pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*)

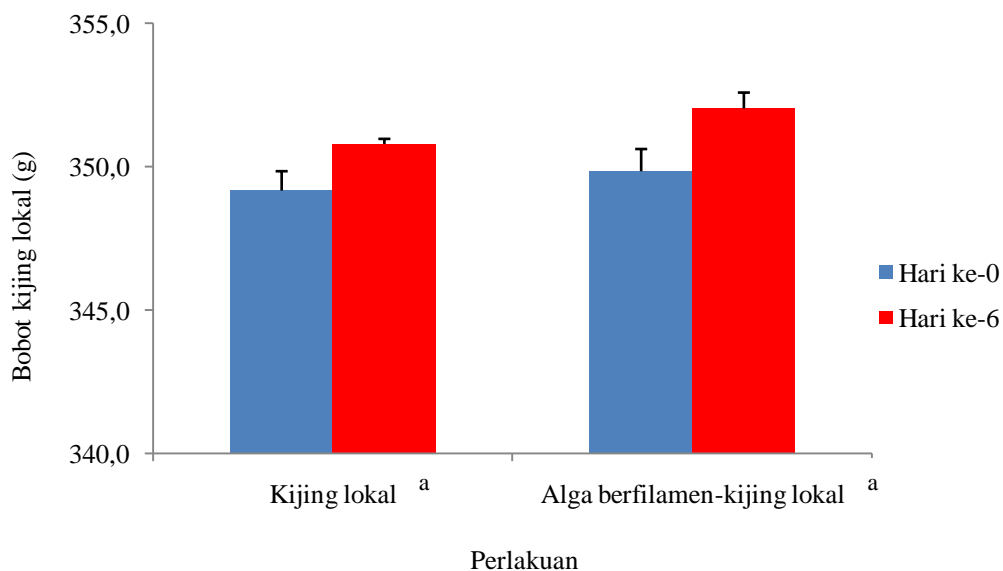
Perlakuan	Persamaan regresi	r	R ²
Alga berfilamen	$\ln y = 2,3423 - 0,0563 \ln x_1 + 0,0629 \ln x_2^*$	0,932	0,868
Alga berfilamen-kijing lokal	$\ln y = 2,3178 - 0,0044 \ln x_1 + 0,0646 \ln x_2^*$	0,861	0,742

Keterangan: $x_1 = \text{NH}_4^+ + \text{NO}_3\text{-N}$, dan $x_2 = \text{PO}_4\text{-P}$; *pengaruh signifikan

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa kedua perlakuan menunjukkan pola regresi yang sama. Penurunan N anorganik (dalam hal ini NH_4^+ dan $\text{NO}_3\text{-N}$) serta peningkatan $\text{PO}_4\text{-P}$ menyebabkan peningkatan bobot *Spirogyra* sp. Berdasarkan hasil uji statistik, diketahui bahwa $\text{PO}_4\text{-P}$ memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penambahan bobot *Spirogyra* sp. Terdapat hubungan yang erat antara keberadaan unsur hara dengan peningkatan bobot *Spirogyra* sp.

Perubahan Bobot Kijing Lokal

Keberhasilan mereduksi limbah organik yang dilakukan oleh kijing lokal tidak hanya dilihat dari penurunan bahan organik di perairan, tetapi juga dilihat dari peningkatan bobot kijing lokal tersebut. Perubahan bobot kijing lokal setelah perlakuan dapat dilihat pada Gambar 20 dan Lampiran 21.



Gambar 20 Bobot kijing lokal awal dan akhir pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*)

Berdasarkan Gambar 20 dapat diketahui bahwa terjadi penambahan bobot kijing lokal pada akhir pengamatan. Perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal menghasilkan penambahan bobot kijing lokal sebesar 0,63%, nilai ini sedikit lebih besar dibandingkan perlakuan kijing lokal dengan penambahan bobot 0,47%. Penambahan bobot ini menandakan bahwa kijing lokal mengalami pertumbuhan. Bahan organik limbah budidaya sidat dimanfaatkan oleh kijing lokal sebagai bahan makanannya, selanjutnya menjadi sumber energi untuk pertumbuhan dan pembentukan sel-sel baru pada kijing lokal tersebut.

Penambahan bobot kijing lokal selanjutnya dikaitkan dengan perubahan bahan organik yang ada dan beberapa parameter kualitas air yang berhubungan dengan keberadaan bahan organik di air limbah sidat. Kaitan antara perubahan bobot kijing dengan parameter COD, TSS, dan kekeruhan disajikan dalam suatu persamaan regresi pada Tabel 5.

Tabel 5 Persamaan regresi antara bobot kijing lokal dengan COD, TSS, dan kekeruhan pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryoconcha exilis*)

a. Perlakuan kijing

Parameter	Persamaan regresi	r	R ²
COD	$\ln y = 5,8801 - 0,0050 \ln x$	0,799	0,639
TSS	$\ln y = 5,8661 - 0,0029 \ln x$	0,891	0,794
Kekeruhan	$\ln y = 5,9267 - 0,0146 \ln x$	0,866	0,751

b. Perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal

Parameter	Persamaan regresi	r	R ²
COD	$\ln y = 5,8866 - 0,0058 \ln x$	0,895	0,654
TSS	$\ln y = 5,8680 - 0,0029 \ln x$	0,902	0,894
Kekeruhan	$\ln y = 5,9216 - 0,0131 \ln x$	0,861	0,966

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa terdapat persamaan pola regresi peningkatan bobot kijing dengan masing-masing parameter yang diregresikan (COD, TSS, serta kekeruhan). Peningkatan bobot kijing akan menyebabkan penurunan nilai COD, TSS, serta kekeruhan. Pola ini terjadi baik pada perlakuan kijing lokal maupun perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal.

Apabila dihubungkan dengan hasil uji statistik, maka penurunan nilai COD, TSS, dan kekeruhan tersebut memberikan hasil yang signifikan terhadap peningkatan bobot kijing pada perlakuan kijing. TSS memberikan nilai yang paling signifikan ($p=0,007$) dibandingkan dengan kekeruhan ($p=0,011$) dan COD ($p=0,031$). Hal ini didukung juga dengan nilai r pada persamaan regresi untuk komponen TSS di dua perlakuan tersebut yang menunjukkan hasil lebih tinggi dibandingkan dengan nilai r pada persamaan regresi untuk COD dan kekeruhan.

Perubahan Komposisi Kimiawi Endapan Limbah, Alga Berfilamen, dan Kijing Lokal

Pengukuran kandungan proksimat dilakukan untuk melihat perubahan komposisi kimia dari bahan organik yang terkandung di endapan limbah, alga berfilamen *Spirogyra* sp., serta kijing lokal, baik sebelum maupun setelah perlakuan. Dekomposisi bahan organik limbah budidaya sidat menyebabkan perubahan komposisi kimiawi beberapa komponen penyusun limbah tersebut. Keberadaan *Spirogyra* sp. dan kijing lokal pada media limbah budidaya yang dicobakan tentunya juga akan terkena pengaruh dari perubahan komposisi kimiawi limbah. Kijing lokal yang memanfaatkan bahan organik melalui proses filtrasi dan *Spirogyra* sp. yang memanfaatkan unsur hara sebagai hasil dekomposisi bahan organik yang ada akan mengalami perubahan bobot dan perubahan komposisi bahan organik pada masing-masing individu.

Perubahan nilai proksimat pada awal dan akhir pengamatan, diduga berpengaruh pada perubahan nilai proksimat pada *Spirogyra* sp. dan kijing lokal. Penurunan jumlah bahan organik serta perubahan komposisi fisika dan kimia komponen penyusun pada air limbah diduga akan dikonversi menjadi bahan organik baru beserta perubahan komponen penyusun pada agen bioremediasi (kijing lokal dan *Spirogyra* sp.) yang digunakan selama penelitian ini, seperti yang tersaji pada Tabel 6 dan Lampiran 22.

Tabel 6 Persentase perubahan nilai proksimat awal dan akhir pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryoconcha exilis*)

Parameter	% perubahan endapan	% perubahan kijing	% perubahan alga
Kadar air	4 %	-1 %	-5 %
Kadar abu	-5 %	-16 %	68 %
Protein	-10 %	-0,8 %	3 %
Nitrogen	-10 %	-1 %	3 %
Lemak	-17 %	1 %	-12 %
Karbohidrat total	-61 %	56 %	38 %
Karbohidrat (serat kasar)	-62 %	-38 %	-71%
Karbohidrat (BETN)	-58 %	776 %	448 %

Keterangan: tanda (-) berarti terjadi penurunan

Berdasarkan Tabel 6 diketahui bahwa kadar air pada endapan limbah mengalami peningkatan sebesar 4% pada akhir pengamatan, sedangkan pada kijing lokal dan *Spirogyra* sp. masing-masing mengalami penurunan sebesar 1% dan 5%. Persentase kadar abu pada endapan dan kijing lokal mengalami penurunan pada akhir pengamatan sebesar 5% dan 16%, sedangkan pada *Spirogyra* sp. mengalami peningkatan sebesar 68%.

Secara umum, kijing lokal memiliki kandungan protein yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan kandungan protein pada *Spirogyra* sp. dan endapan (Lampiran 22). Berdasarkan hasil analisa proksimat pada akhir pengamatan, diketahui bahwa nilai protein pada kijing lokal mengalami penurunan 0,8 %

dibandingkan nilai protein sebelum perlakuan, sedangkan pada alga berfilamen *Spirogyra* sp., nilai protein mengalami peningkatan sebesar 3%.

Persentase total karbohidrat pada endapan limbah ikan sidat mengalami penurunan sebesar 62%. Penurunan terjadi baik untuk serat kasar maupun bahan ekstrak tanpa nitrogen/ BETN. Persentase total karbohidrat pada kijing mengalami peningkatan 56% dan pada *Spirogyra* sp. meningkat sebesar 38%. Nilai karbohidrat mengalami penurunan pada komponen serat kasar, namun mengalami peningkatan yang signifikan pada BETN. Hal ini mengindikasikan bahwa konversi bahan organik limbah ikan sidat lebih banyak menjadi bentuk komponen BETN dibandingkan serat kasar. Persentase lemak mengalami penurunan sebesar 17% pada endapan limbah dan 12% pada *Spirogyra* sp., sedangkan pada kijing lokal mengalami peningkatan sebesar 1%.

Berdasarkan hasil dari analisis proksimat sebelum dan setelah perlakuan, dapat diketahui bahwa terjadi perubahan komposisi kadar air, kadar abu, protein, karbohidrat, dan lemak. Endapan yang dalam hal ini sebagai bagian dari bahan organik limbah sidat, mengalami dekomposisi sehingga menyebabkan berubahnya komponen kimiawi penyusun limbah tersebut. Penurunan kadar abu, protein, lemak, dan karbohidrat pada endapan akhir dapat menjadi bukti bahwa bahan organik yang terdekomposisi menyebabkan berkurangnya komponen penyusun bahan organik tersebut.

Bahan organik dapat dimanfaatkan langsung oleh kijing lokal dan selanjutnya dikonversi menjadi energi melalui proses metabolisme. Bahan organik yang terdekomposisi menjadi unsur hara akan dimanfaatkan oleh *Spirogyra* sp. Adanya pemanfaatan hasil dekomposisi bahan organik tersebut dapat dilihat berdasarkan perubahan nilai proksimat awal dan akhir pada kijing lokal dan *Spirogyra* sp. Perubahan yang cukup signifikan terjadi pada peningkatan karbohidrat kijing lokal dan *Spirogyra* sp. serta peningkatan kadar abu *Spirogyra* sp. Protein hanya mengalami sedikit peningkatan pada *Spirogyra* sp. Adanya perubahan kandungan proksimat serta perubahan bobot kijing dan alga pada awal dan akhir perlakuan menandakan bahwa terjadi aliran energi dalam sistem pada wadah resirkulasi dengan sistem *carrousel* yang dicobakan.

Efektivitas Alga Berfilamen *Spirogyra* sp. dan Kijing Lokal serta Biotransformasi Bahan Organik

Tingkat efektivitas dari agen bioremediasi yang digunakan ditentukan berdasarkan kemampuan dari masing-masing perlakuan yang memberikan hasil terbaik terhadap perubahan beberapa parameter yang diamati selama penelitian, seperti yang disajikan pada Tabel 7. Berdasarkan Tabel 7, dapat diketahui bahwa perlakuan kijing lokal pada akhir percobaan memberikan hasil yang paling baik terhadap penurunan volume endapan dan COD, sedangkan perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal memberikan hasil terbaik terhadap penurunan TSS dan kekeruhan, serta peningkatan TDS, bobot kijing lokal, dan bobot alga berfilamen. Hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi dari kedua agen bioremediasi yang digunakan menunjukkan hasil yang lebih baik pada proses bioremediasi limbah budidaya sidat.

Tabel 7 Rincian perubahan beberapa parameter yang diamati pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*)

Perlakuan	Penurunan				Peningkatan		
	Volume endapan	COD	TSS	Kekeruhan	TDS	bobot kijing lokal	bobot alga berfilamen
Kontrol	8,1%	49,5%	64,3%	18,1%	7,5%	-	-
Kijing lokal	56,2%	54,3%	73,6%	24,5%	7,9%	0,47%	-
Alga berfilamen	33,8%	52,4%	67,4%	30,8%	9,1%	-	6,6%
Alga berfilamen-kijing lokal	40,4%	51,4%	79,1%	37,4%	9,8%	0,63%	7,3%

Beberapa parameter yang digunakan sebagai dasar penentuan efektivitas dari agen bioremediasi dipilih berdasarkan komponen penyusun biotransformasi bahan organik limbah budidaya sidat selama berlangsungnya proses bioremediasi tersebut. Biotransformasi yang dimaksudkan adalah perubahan bahan organik limbah budidaya sidat (diwakili oleh nilai volume endapan, COD, TSS, dan kekeruhan) berupa sisa pakan yang dapat dimanfaatkan langsung oleh kijing lokal menjadi biomassa kijing lokal, atau dimanfaatkan mikroorganisme seperti bakteri melalui dekomposisi untuk menghasilkan unsur hara/ bahan anorganik yang terlarut di perairan (diwakili oleh nilai TDS). Selanjutnya unsur hara ini dimanfaatkan alga berfilamen *Spirogyra* sp. serta mikroalga seperti perifiton. Biotransformasi ini juga ditandai melalui perubahan komposisi kimiawi seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 6. Jumlah konversi bobot sebagai hasil biotransformasi bahan organik limbah budidaya sidat menjadi bobot alga berfilamen *Spirogyra* sp. dan kijing lokal disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil biotransformasi bahan organik pada penelitian bioremediasi limbah budidaya sidat menggunakan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.) dan kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*)

Perlakuan	Bahan penyusun (gr/hari)					konversi (gr/hari)	
	Endapan	COD	TSS	Kekeruhan	TDS	Kijing lokal	Alga berfilamen
Kijing lokal	0,053	0,483	0,190	0,203	0,099	0,271	-
Alga berfilamen	0,032	0,466	0,174	0,255	0,115	-	0,099
Alga berfilamen-kijing lokal	0,038	0,458	0,204	0,309	0,125	0,365	0,109

Berdasarkan Tabel 8 dapat diketahui bahwa konversi bahan organik menjadi bobot kijing lokal serta alga berfilamen *Spirogyra* sp. pada perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal menunjukkan hasil yang lebih besar dibandingkan perlakuan kijing lokal atau perlakuan alga berfilamen saja. Bobot bahan penyusun didapatkan dari hasil perubahan beberapa parameter seperti yang tertera pada Tabel 7, yang ditransformasikan ke dalam bentuk bobot (berdasarkan volume limbah selama penelitian). Semakin tinggi bobot bahan penyusun, semakin tinggi pula konversi bahan organik menjadi bobot kijing lokal dan alga berfilamen *Spirogyra* sp. Hal ini sejalan dengan perubahan kandungan kimiawi kijing lokal

dan alga berfilamen *Spirogyra* sp. sebagaimana yang disajikan pada Tabel 6. Proses biotransformasi ini juga menyebabkan peningkatan kandungan protein dan kandungan nitrogen pada alga berfilamen *Spirogyra* sp., serta peningkatan karbohidrat yang signifikan, baik pada kijing lokal maupun pada alga berfilamen *Spirogyra* sp.

Pembahasan

Masalah pada sistem budidaya perairan adalah cepat terkumpul sisa pakan, bahan organik, dan senyawa nitrogen toksik (Gunadi dan Hafsaridewi 2008). Hal ini disebabkan ikan hanya memanfaatkan sekitar 25% nutrisi pakan untuk tumbuh dan proses metabolisme, padahal ikan sidat membutuhkan pakan dengan kandungan protein tinggi. Pakan ikan sidat pada kolam budidaya yang limbahnya dipakai sebagai media penelitian memiliki kandungan protein dan karbohidrat yang cukup tinggi, yaitu protein 34,07%, lemak 4,42%, karbohidrat 36,39% (3,53% serat kasar dan 32,86% BETN).

Craigh dan Helfich (2002) menyatakan bahwa pakan yang diberikan pada biota perairan sekitar 10% tidak termakan (terbuang), 10% merupakan limbah padatan, dan 30% merupakan limbah cair yang dihasilkan oleh biota yang dibudidayakan. Potensi pasokan amonia ke dalam air budidaya sebesar 75% dari kadar nitrogen dalam pakan dan potensi limbah bahan organik yang dihasilkan diperkirakan sebesar 36% dari pakan yang diberikan (Gunadi dan Hafsaridewi 2008).

Dampak yang paling signifikan dari limbah budidaya adalah peningkatan konsentrasi unsur hara pada perairan alami (Midlen dan Redding 2000). Pengetahuan mengenai sifat-sifat limbah akan sangat membantu dalam penetapan metode penanganan dan pembuangan limbah yang efektif. Penanganan secara biologis cocok dilakukan pada limbah cair yang mengandung bahan padatan organik terlarut (Jenie dan Rahayu 1993). Pengolahan air limbah secara biologis umumnya dilakukan untuk mempercepat serta mengoptimalkan proses pulih diri yang telah ada di suatu ekosistem perairan. Penambahan agen biologi berupa kijing lokal dan alga berfilamen *Spirogyra* sp. merupakan salah satu upaya yang dilakukan untuk mengolah limbah yang mengandung bahan organik.

Percobaan pengolahan bahan organik limbah budidaya ikan sidat dengan penambahan agen kijing lokal dan *Spirogyra* sp. menunjukkan hasil yang cukup baik. Penurunan bahan organik dari masing-masing perlakuan yang dicobakan menunjukkan pola yang hampir sama, yaitu terjadi penurunan nilai COD hingga hari ke-6 retensi. Nilai COD yang terukur memang menunjukkan pola yang menurun, akan tetapi beberapa perlakuan mengalami fluktuasi nilai COD. Fluktuasi nilai COD pada perlakuan kijing lokal diduga akibat penurunan kemampuan filtrasi kijing lokal serta penambahan bahan organik dari feses kijing lokal. Perlakuan penambahan kijing memberikan pengaruh yang dominan terhadap peningkatan COD yang terjadi pada hari ke-2 pengamatan. Affandi dan Tang (2002) menjelaskan bahwa makanan yang dikonsumsi oleh biota perairan akan mengalami proses pencernaan, penyerapan, pengangkutan, dan metabolisme. Tidak semua makanan yang dikonsumsi dapat terserap. Hal ini berkaitan dengan kompleksitas zat makanan dan keterbatasan kemampuan mencerna. Bagian makanan yang tidak dapat dicerna dan diserap tubuh akan dibuang sebagai feses.

Adanya peningkatan COD pada penggunaan *Spirogyra* sp. diduga berasal dari alga berfilamen *Spirogyra* sp. yang tua dan mati. Selanjutnya *Spirogyra* sp. yang mati ini akan berpengaruh terhadap konsentrasi nutrien N dan P di perairan media tempat hidupnya. Roman *et al.* (2011) menyatakan bahwa fluktuasi nutrien N dan P selain dipengaruhi oleh alga yang mati, juga dipengaruhi oleh pertumbuhan alga, konsentrasi N dan P dari air media, serta jumlah konsentrasi N dan P yang dibawa oleh alga tersebut.

Penurunan bahan organik juga dapat dilihat dari peningkatan bobot kijing lokal selama penelitian. Bahan organik yang diserap oleh kijing lokal sebagai bahan makanannya, akan dikonversi menjadi energi untuk pembentukan sel baru dan pertumbuhan. Komarawidjaja (2006) menjelaskan bahwa kijing lokal termasuk hewan *filter feeder* yang mampu menyaring partikel berukuran 0,1-50 μm dari badan perairan. Partikel yang berukuran $> 4 \mu\text{m}$ mampu difiltrasi hingga mencapai 100%. Umumnya kemampuan filtrasi kijing lokal juga dipengaruhi oleh ukuran tubuh. Kijing lokal berukuran besar atau bobot lebih banyak memang memiliki kemampuan memfiltrasi yang lebih besar dibandingkan kijing lokal berukuran sedang dan kecil (Nurjanah 2012).

Dekomposisi bahan organik oleh mikroba akan menghasilkan bahan anorganik berupa unsur hara yang dapat dimanfaatkan oleh *Spirogyra* sp. Pemanfaatan unsur hara tersebut dapat dilihat dari perubahan beberapa parameter kualitas air seperti amonia, nitrat, dan ortofosfat. Pemanfaatan unsur hara melalui proses fotosintesis selanjutnya dapat menyebabkan pertumbuhan *Spirogyra* sp. yang ditandai dengan penambahan bobot alga berfilamen ini. Perlakuan kombinasi *Spirogyra*-kijing mengalami penambahan bobot yang lebih besar dibandingkan dengan perlakuan *Spirogyra*. Hal ini diduga karena keberadaan nutrien pada perlakuan kombinasi *Spirogyra*-kijing yang mencukupi untuk kebutuhan *Spirogyra* sp., serta didukung oleh peningkatan beberapa parameter kualitas air, terutama pH dan alkalinitas, sehingga penyerapan nutrien berlangsung optimal.

Pola peningkatan nutrien N dan P seiring dengan pertumbuhan *Spirogyra* sp. pada penelitian ini diduga karena proses pembentukan nutrien N dan P lebih cepat dari pada penyerapan oleh *Spirogyra* sp. Hal ini juga serupa dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Roman *et al.* (2011), bahwa selama dua minggu percobaan, konsentrasi N dan P mengalami peningkatan pada semua perlakuan yang diuji (perlakuan berupa perbedaan sumber air media tumbuh *Spirogyra* sp.). Pertumbuhan *Spirogyra* sp. berlangsung efektif selama 1 minggu retensi, setelah itu pertumbuhan mengalami penurunan hingga minggu ke-2. Hasil percobaan ini juga memberikan informasi bahwa nilai N dan P tertinggi tidak selalu menyebabkan pertumbuhan *Spirogyra* sp. tertinggi pula. Hal ini mengindikasikan bahwa adanya batas maksimum penyerapan nutrien N dan P oleh *Spirogyra* sp. selama percobaan.

Nutrien yang berasal dari N dan P merupakan persyaratan yang dibutuhkan alga secara umum, dalam hal ini termasuk alga berfilamen *Spirogyra* sp. untuk melangsungkan pertumbuhannya. Telah diketahui bahwa keberadaan nutrien tersebut merupakan faktor pembatas untuk pertumbuhan alga. Adanya keterbatasan pemanfaatan nutrien N dan P menyebabkan perbedaan jumlah nutrien N dan P yang diserap oleh *Spirogyra* sp. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hmaidan *et al.* (2011), diperoleh informasi bahwa *Spirogyra* sp.

memiliki pertumbuhan yang lebih baik pada perairan dengan kandungan nitrogen yang cukup tinggi. Hasil serupa juga didapatkan dari penelitian Brubaker *et al.*, (2011) bahwa keberadaan N pada konsentrasi yang cukup akan memberikan pertumbuhan *Spirogyra* sp. yang optimal. Nilai N:P rasio yang diperoleh selama penelitian sebesar 9:1, nilai ini lebih kecil bila dibandingkan dengan standar N:P rasio Redfield sebesar 16:1 serta cukup jauh jika dibandingkan dengan persyaratan rasio optimal untuk pertumbuhan *Spirogyra fluviatilis*, yaitu pada kisaran 50:1, 52:1, dan 58:1 (Borchardt 1994) serta sebesar 87:1 (Towsend *et al.* 2008)

Hingga pengamatan hari ke-6, beberapa parameter lingkungan yang diukur sebagai cerminan kualitas air juga memberikan hasil yang cukup baik seperti penurunan kekeruhan dan TSS, serta peningkatan pH dan alkalinitas. Peningkatan nilai pH selama penelitian berkaitan dengan aktivitas transpor ion dari dan keluar sel. Melalui peningkatan pH menuju ke pH normal, transpor ion tersebut akan cenderung lebih efektif dan menyebabkan keseimbangan baik di biota uji maupun di perairan. Perairan dengan nilai alkalinitas tinggi umumnya lebih produktif dibandingkan perairan dengan alkalinitas rendah. Tingginya produktivitas perairan ini berkaitan dengan keberadaan fosfor dalam bentuk $PO_4\text{-P}$ yang jumlahnya mengalami peningkatan. Hal ini didukung dengan pernyataan Boyd (1988) bahwa peningkatan produktivitas perairan dapat disebabkan oleh keberadaan fosfor dan elemen esensial lain yang kadarnya meningkat, seiring dengan peningkatan alkalinitas.

Peningkatan kualitas air ini juga berpengaruh pada kelangsungan hidup dan pertumbuhan *Spirogyra* sp. serta kijang lokal. Pertumbuhan *Spirogyra* sp. selain disebabkan oleh peningkatan unsur hara serta peningkatan kualitas air melalui peningkatan pH dan alkalinitas yang membuat perairan lebih stabil, juga didukung oleh ketersediaan intensitas cahaya matahari. Hal ini akan mendukung perkembangbiakan *Spirogyra* sp. secara aseksual dengan fragmentasi (pemutusan talus) dan atau perkembangbiakan seksual melalui konjugasi (Bellinger dan Sigeo 2010). Keberadaan *Spirogyra* sp. dapat menyebabkan peningkatan nilai DO pada media penelitian. Peningkatan DO juga dapat disebabkan dari resirkulasi air yang berlangsung selama penelitian. Sistem *carrousel* yang diterapkan memang bertujuan untuk peningkatan DO melalui aliran air pada sekat-sekat kanal yang ada. Hal ini tentunya sangat mendukung bagi pertumbuhan kijang lokal, karena sebenarnya kijang lokal pun mampu bertahan hidup pada kondisi perairan kekurangan oksigen (Komarawidjaja 2006).

Berdasarkan persentase penurunan nilai COD, TSS, kekeruhan, serta adanya peningkatan nilai pH, TDS, serta alkalinitas, dapat dikatakan bahwa pengolahan limbah budidaya sidat secara biologi melalui pemanfaatan *Spirogyra* sp. dan kijang lokal berlangsung cukup efektif. Hal ini berdasarkan kriteria nilai efisiensi pengolahan limbah cair, bahwa apabila kemampuan mereduksi limbah cair pada suatu sistem pengolahan limbah berkisar antara 41-60%, maka dapat dikatakan bahwa pengolahan limbah tersebut berlangsung cukup efektif (Djunaedi 2007). Berdasarkan tingkat efektivitas dari kedua agen bioremediasi yang digunakan, diperoleh informasi bahwa perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijang lokal menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan perlakuan kijang lokal saja atau alga berfilamen saja.

Apabila dilihat secara keseluruhan dari percobaan yang dilakukan, dapat diketahui bahwa penambahan agen bioremediasi berupa alga berfilamen *Spirogyra* sp. dan kijing lokal menunjukkan hasil yang hampir sama dengan perlakuan tanpa penambahan agen bioremediasi. Hal ini diduga karena selain perlakuan berlangsung pada skala kecil, peran yang cukup besar dalam proses bioremediasi ini berasal dari bakteri *indigenous* yang memang terdapat pada sistem yang diterapkan.

Berdasarkan hasil percobaan ini diketahui bahwa perlakuan kijing lokal memiliki penurunan nilai rata-rata COD tertinggi selama enam hari, diikuti perlakuan alga berfilamen, lalu perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal. Hasil dari percobaan pada skala ini dapat dijadikan acuan untuk penerapan pada kondisi lapang. Hal menjadi kendala selanjutnya adalah adanya masukan feses kijing lokal yang mampu menambah bahan organik di perairan. Oleh karena itu, untuk memaksimalkan hasil aplikasi pada skala lapang, diusulkan kijing lokal yang digunakan tidak hanya kijing berukuran besar saja, akan tetapi dikombinasikan dengan kijing berukuran kecil (dengan bobot total kijing lokal adalah tetap). Hal ini didasarkan atas hasil penelitian pendahuluan pada tahap penggunaan kijing lokal, bahwa kijing lokal berukuran kecil mengalami penambahan bobot pada dosis limbah yang besar (75% dan 100%), sedangkan kijing lokal berukuran besar mengalami penambahan bobot pada konsentrasi limbah yang kecil (25% dan 50%). Hal ini diduga terkait dengan jumlah individu kijing yang memanfaatkan bahan organik pada masing-masing perlakuan.

Alternatif lain yang bisa diusulkan untuk penerapan pada skala lapang adalah adanya perlakuan pendahuluan (*pre treatment*), berupa kolam pengendapan sebelum limbah masuk ke wadah pengolahan. Kolam pengendapan ini diusulkan mengacu pada konsep lahan basah buatan, dengan penambahan tumbuhan air tipe mencuat sebagai perangkap sedimen. Pemanfaatan kijing lokal berukuran kecil (6,68 -31,31 g) seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, juga dinilai cocok untuk diaplikasikan pada kolam pengendapan ini.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah enam hari retensi didapatkan hasil bahwa kandungan bahan organik mengalami penurunan pada semua perlakuan. Perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal memperlihatkan efektivitas paling baik dalam bioremediasi limbah budidaya sidat. Pemanfaatan alga berfilamen *Spirogyra* sp. dan kijing lokal juga dapat menurunkan nilai kekeruhan dan TSS, serta meningkatkan nilai TDS, alkalinitas, dan pH. Penggunaan *Spirogyra* sp. dan kijing lokal cukup efektif untuk menurunkan kandungan bahan organik pada air limbah.

Saran

Apabila akan diaplikasikan pada skala lapang, disarankan adanya perlakuan pendahuluan (*pre treatment*) terhadap limbah budidaya, berupa kolam pengendapan dengan penambahan tumbuhan air tipe mencuat sebagai perangkap sedimen dan pemanfaatan kijang lokal berukuran kecil (6,68-31,31 g) pada kolam tersebut. Selanjutnya perlu dipertimbangkan bahan pelengkap pada wadah pengolahan limbah budidaya sidat agar filamen *Spirogyra* sp. tumbuh lebih optimal dan tidak terbawa aliran resirkulasi. Mengingat filamen *Spirogyra* sp. masih ada yang lolos dari media strimin yang dipakai.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi M, Candra LA, Priatma AB, Irawan B, Soegianto A. 2013. Diversity of the Unionid Freshwater Mussels (Bivalva: Unionidae) in Brantas River, East Java, Indonesia. *J Biol Researc.* 18: 111-115.
- Affandi R, Tang UM. 2002. Fisiologi Hewan Air. Pekanbaru: Unri Press. Hal 108-126.
- Afrianto E, Liviawaty E. 2005. Pakan Ikan. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Akinrotimi OA, Abu OMG, Aranyo AA. 2011. Environmental Friendly Aquaculture Key to Sustainable Fish Farming Development In Nigeria. *J Fish & Aquat Scien.* 5(2): 17-31.
- Bellinger EG, Sige DC. 2010. Fresh Water Algae: Identification and Use as Bioindicator. UK: John Wiley & Sons, Ltd. Hal 154-155.
- Bishnoi NR, Pant A, Garima. 2004. Biosorption of Copper from Aqueous Solution using Algal Biomass. *J Scient & Indust Resear.* 63: 813-816.
- Bishnoi NR, Kumar R, Kumar S, Rani S. 2007. Biosorption of Cr(III) from Aqueous Solution Using Algal Biomass *Spirogyra* spp. *Hazard Mater.* 145 (1-2):142-147 [terhubung berkala]. <http://ipb.ac.id/onlinejournal/Sciencedirect>. [15 Sept 2011].
- Borchardt MA. 1994. Effects of Flowing Water on Nitrogen and Phosphorus Limited Photosynthesis and Optimum N:P Ratios by *Spirogyra fluviatilis* (Charophyceae). *J Phycol.* 30: 418-430.
- Boyd CE. 1988. Water Quality in Warmwater Fish Ponds. Alabama: Auburn University.
- Brahmbhatt NH, Patel RV, Jasrai RT. 2012. Bioremediation Potential of *Spirogyra* sps & *Oscillatoria* sps for Cadmium. *Asian J Biochem Pharmaceutl Resear.* 2(2): 102-107.
- Brubaker L, Maier C, Skelly K. 2011. Effects of Varying Levels of Nitrogen on *Spirogyra* sp. Growth. *Scientific Poster.* Texas : Baylor University.
- Bureau DP, Hua K. 2010. Towards Effective Nutritional Management of Waste Outputs in Aquaculture, with Particular Reference to Salmonid Aquaculture Operations. Review article. *J Aquacul Resear.* 41: 777-792.

- Craig S, Helfrich LA. 2002. Understanding Fish Nutrition, Feeds, and Feeding. Virginia Cooperative Extension Publication 420-256.
- Djunaedi H. 2007. Kajian Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit (Studi Kasus Rumah sakit di Wilayah DKI Jakarta). [disertasi]. Bogor: Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Eshaq FS, Ali MN, Mohd MK. 2010. *Spirogyra* Biomass a Renewable Source for Biofuel (Bioethanol) Production. *Int J Engin Scien Technol.* 2(12): 7045-7054.
- Fovet O, Belaud G, Litrico X, Charpentier S, Bertrand C, Dauta A, Hugodot C. 2010. Modelling Periphyton in Irrigation Canals. *Ecol Model.* 221:1153-1161.
- Gunadi B, Hafsaridewi R. 2008. Pengendalian Limbah Budidaya Ikan Lele dengan Sistem Heterotrofik Menuju Sistem Akuakultur Nir-Limbah. *J Ris Akuakul.* 3(3): 437-448.
- Hmaidan S, Carter S, Alba M. 2011. The Effects of Different Nitrogen Levels on *Spirogyra sp.* *Scientific Poster.* Texas: Baylor University.
- Ho Kim B, Hwan Lee J, Jin Hwang S. 2011. Inter- and intra-specific differences in filtering activities between two unionids, *Anodonta woodiana* and *Unio douglasiae*, in ambient eutrophic lake waters. *Ecolog Engineer.* 37: 1957-1967.
- Jenie BSL, Rahayu WP. 1993. Penanganan Limbah Industri Pangan. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Khalaf M. 2008. Biosorption of Reactive Dye from Textile Wastewater by Non-Viable Biomass of *Aspergillus niger* and *Spirogyra sp.* *Bioresour Technol.* 99:6631-6634 [terhubung berkala]. <http://ipb.ac.id/onlinejournal/EBSCO>. [18 Sept 2011].
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2010. Sidat jadi Primadona. Artikel. http://www.kkp.go.id/index.php/arsip/c/2471/Sidat-JadiPrimadona/?category_id=30. [21 Februari 2014].
- Komarawidjaja W. 2006. Kajian Adaptasi Kijing *Pilsbryoconcha exilis* sebagai Langkah Awal Pemanfaatannya dalam Biofiltrasi Pencemar Organik di Perairan Waduk. *J Tekn Lingk.* 7(2): 160-165.
- Kumar JIN, Oommen C. 2012. Removal of Heavy Metals by Biosorption using Freshwater Alga *Spirogyra hyalina*. *J Environ Biol.* 33: 27-31.
- Liu Y, Hao A, Iseri Y, Kuba T, Zhang Z. 2014. A Comparison of the Mussel *Anodonta woodiana*'s Acute Physiological Responses to Different Algae Diets. *J Clean Ener Tech.* 2(2): 126-131
- Mane PC, Bhosle AB. 2012. Bioremoval of Some Metals by Living Algae *Spirogyra sp.* and *Spirullina sp.* from Aqueous Solution. *Int J Environ Resour.* 6(2): 571-576.
- Martins CIM, Eding EH, Verdegem MCJ, Heinsbroek LTN, Schneider O, Blancheton JP, Roque d'Orbcastel E, Verreth JAJ. 2010. New Developments in Recirculating Aquaculture System in Europe: A Perspective on Environmental Sustainability. *Aquacul Engin.* 43(3): 89-93.
- Mattjik AA, Sumertajaya M. 2000. Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab. Bogor: IPB Press.
- Midlen A, Redding TA. 2000. Environmental Management for Aquaculture. Dordrecht, Nedherland : Kluwer academic Publisher.
- Nofdianto. 2010. Prospek Kanal Perifiton Eksterior sebagai Media Pemantau Dampak Antropogenik dan Perubahan Iklim pada Ekosistem Perairan Lentik. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi V tahun 2010: 272-280.*



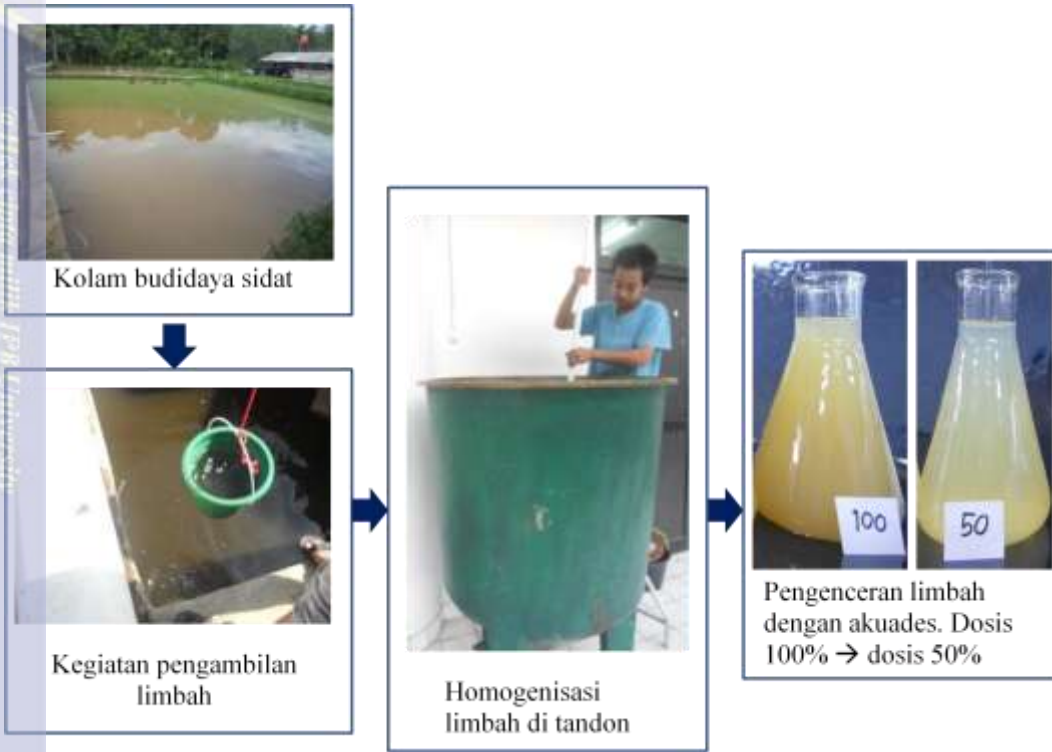
- Nurjanah. 2012. Analisis Kandungan Logam Berat Daging Kijing Lokal (*Pilsbryconcha exilis*) dari Perairan Situ Gede, Bogor. *J Inov Kewirausah.* 1(1): 1-7.
- Rezaee A, Ramavandi B, Ganati F, Ansari M, Solimanian A. 2006. Biosorption of Mercury by Biomass of Filamentous Algae *Spirogyra* Species. *J Biol Scien.* 6(4): 695-700.
- Roman M, Nguyen S, Manon V. 2011. Nitrogen and Phosphorus Effects on Algal Growth in Various Locations. *Scientific Poster.* Texas: Baylor University.
- Ryther JH. 1956. Photosynthesis in the Ocean as a Function of Light Intensity. *Limnol Ocean* 1(1): 61-70.
- Singh D. 2007. Biosorption of Copper(II) from Aqueous Solution by Non-Living *Spirogyra* sp. *J Environ Resear Develop* 1(3): 227-231.
- Suitha IM, Suhaeri A. 2008. Budidaya Sidat. Jakarta: PT Agromedia Pustaka. 44 hal.
- Todd J, Josephson B. 1996. The Design of Living Technologies for Waste Treatment. *Ecol Engineer* 6: 109-136.
- Townsend SA, Schult JH, Douglas MM, Skinner S. 2008. Does the Redfield Ratio Infer Nutrient Limitation in the Macroalga *Spirogyra fluviatilis*. *Freshwat Biol* 53: 509-520.

LAMPIRAN

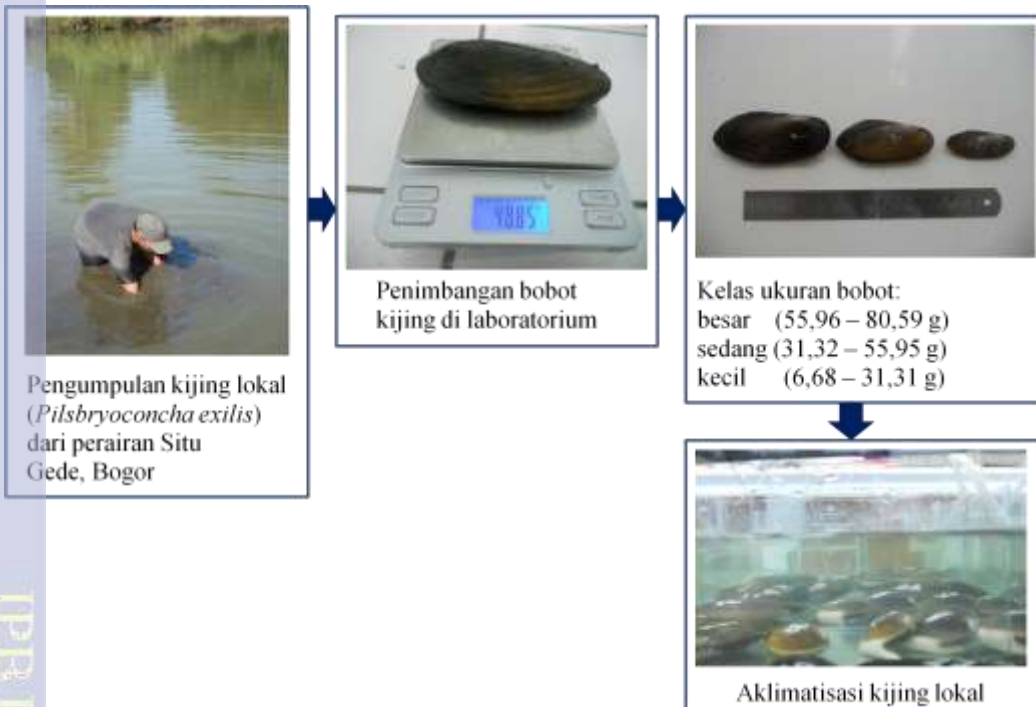
Lampiran 1. Analisis beberapa parameter yang diamati selama penelitian

Parameter	Unit	Alat	Metode	Lokasi
Fisika				
Suhu	°C	DO meter		<i>In situ</i>
TSS	mg L ⁻¹		Gravimetri	Laboratorium
TDS	mg L ⁻¹	TDS meter		Laboratorium
Kekeruhan	NTU	Turbidimeter		Laboratorium
Intensitas cahaya	Lux	Lux meter		<i>In situ</i>
Kimia				
pH	-	pH meter		<i>In situ</i>
DO	mg L ⁻¹	DO meter		<i>In situ</i>
COD	mg L ⁻¹		Oksidator kuat Potassium Dichromate (K ₂ Cr ₂ O ₇)	Laboratorium
NH ₃ -N	mg L ⁻¹		Indophenol/ Phenate	Laboratorium
NO ₃ -N	mg L ⁻¹		Brucine	Laboratorium
PO ₄ -P	mg L ⁻¹		Ascorbic acid	Laboratorium
Alkalinitas	mg L ⁻¹		Spektrofotometri	Laboratorium
Biologi				
Biomassa alga berfilamen (<i>Spirogyra</i> sp.)	g	Timbangan digital	Penimbangan	Laboratorium
Biomassa kijing lokal (<i>Pilsbryoconcha exilis</i>)	g	Timbangan digital	Penimbangan	Laboratorium
Proksimat (kadar air, kadar abu, kadar lemak, kadar protein, kadar karbohidrat)	%		Proksimat	Laboratorium

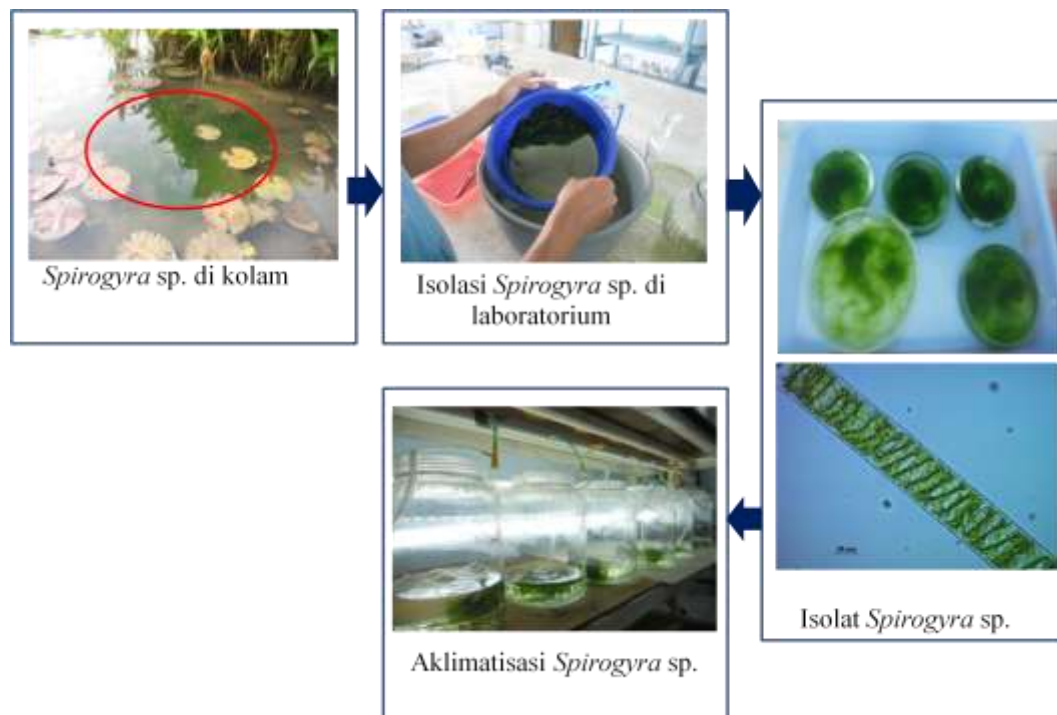
Lampiran 2. Proses penyiapan limbah budidaya



Lampiran 3. Proses penyiapan kijang lokal (*Pilsbryococha exilis*)



Lampiran 4. Proses penyiapan alga berfilamen (*Spirogyra* sp.)



Lampiran 5. Data nilai COD selama penelitian

a. Rataan nilai COD selama pengamatan

Perlakuan	Rataan nilai COD (mg L^{-1}) hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol	148,40	110,24	101,05	91,87	87,63	73,49	74,91
Kijing lokal	148,40	81,97	80,56	83,39	72,08	70,67	67,84
Alga berfilamen	148,40	83,39	74,91	73,49	72,08	71,37	70,67
Alga berfilamen-kijing lokal	148,40	80,56	72,08	84,80	80,56	77,73	72,08

b. Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Row 1	7	687,5867	98,22667	663,0072296
Row 2	7	604,9067	86,41524	783,9755513
Row 3	7	594,3067	84,90095	802,4049693
Row 4	7	616,2133	88,03048	730,2329905
Column 1	4	593,6	148,4	0
Column 2	4	356,16	89,04	201,0827852
Column 3	4	328,6	82,15	171,244963
Column 4	4	333,5467	83,38667	57,26198519
Column 5	4	312,3467	78,08667	56,42968889
Column 6	4	293,2667	73,31667	10,1124
Column 7	4	285,4933	71,37333	8,655881481

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	762,5499	3	254,1833	6,086	0,004798	3,160
Columns	17125,9112	6	2854,319	68,338	2,09E-11	2,661
Error	751,8132	18	41,7674			
Total	18640,2743	27				

c. Uji Lanjut BNT

	Kontrol	Alga berfilamen -kijing lokal	Kijing lokal	Alga berfilamen
Alga berfilamen	13,33	3,13	1,51	
Kijing lokal	11,81	1,62		
Alga berfilamen – kijing lokal	10,20			
Kontrol				

Nilai BNT = 13,19

Perlakuan yang memberikan perbedaan nyata terhadap nilai COD adalah perlakuan alga berfilamen dengan kontrol.

Lampiran 6. Data nilai kekeruhan selama penelitian

a. Rataan nilai kekeruhan selama pengamatan

Perlakuan	Rataan nilai Kekeruhan (NTU) hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol	138	126	113	108	107	113	113
Kijing lokal	138	120	111	107	107	107	104
Alga berfilamen	138	121	109	107	104	99	96
Alga berfilamen- kijing lokal	138	118	105	100	95	89	86

b. Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Row 1	7	817,7666667	116,8238	126,4758
Row 2	7	794,9	113,5571	143,6321
Row 3	7	773,1333333	110,4476	214,3996
Row 4	7	732,2666667	104,6095	329,5951
Column 1	4	552	138	0
Column 2	4	485,6666667	121,4167	10,62037
Column 3	4	438,3333333	109,5833	11,58333
Column 4	4	421,5333333	105,3833	13,01741
Column 5	4	413	103,25	31,81963

Column 6	4	408,3333333	102,0833	106,5463
Column 7	4	399,2	99,8	130,2556

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	567,574127	3	189,1914	9,900883	0,000444	3,159908
Columns	4540,661905	6	756,777	39,60413	2,05E-09	2,661305
Error	343,9536508	18	19,10854			
Total	5452,189683	27				

c. Uji Lanjut BNT

	Kontrol	Kijing lokal	Alga berfilamen	Alga berfilamen-kijing lokal
Alga berfilamen-kijing lokal	12	9	6	
Alga berfilamen	6	4		
Kijing lokal	3			
Kontrol				

Nilai BNT = 8,72

Perlakuan yang memberikan perbedaan nyata terhadap nilai kekeruhan adalah perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal dengan kontrol serta perlakuan alga berfilamen dengan kontrol.

Lampiran 7. Data nilai TSS selama penelitian

a. Rataan nilai TSS selama pengamatan

Perlakuan	Rataan nilai TSS (mg L^{-1}) hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol	43	38	17	17	14	14	15
Kijing lokal	43	26	16	13	11	12	11
Alga berfilamen	43	23	15	12	11	11	14
Alga berfilamen-kijing lokal	43	27	15	9	8	7	9

b. Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Row 1	7	158	22,57143	153,4709
Row 2	7	133	19	140,2222
Row 3	7	128,3333333	18,33333	137,1111
Row 4	7	117	16,71429	182,4603
Column 1	4	172	43	0
Column 2	4	114,3333333	28,58333	41,65741

Column 3	4	62,66666667	15,66667	1,111111
Column 4	4	50,33333333	12,58333	10,17593
Column 5	4	43,66666667	10,91667	6,101852
Column 6	4	43,66666667	10,91667	10,32407
Column 7	4	49,66666667	12,41667	7,953704

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	128,297619	3	42,76587	7,425017	0,001937	3,159908
Columns	3575,912698	6	595,9854	103,4751	5,85E-13	2,661305
Error	103,6746032	18	5,7597			
Total	3807,884921	27				

c. Uji Lanjut BNT

	Kontrol	Kijing lokal	Alga berfilamen	Alga berfilamen-kijing lokal
Alga berfilamen-kijing lokal	5,9	2,3	1,6	
Alga berfilamen	4,2	0,7		
Kijing lokal	3,6			
Kontrol				

Nilai BNT = 4,79

Perlakuan yang memberikan perbedaan nyata terhadap nilai TSS adalah perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal dengan kontrol.

Lampiran 8. Data volume endapan awal dan akhir

Perlakuan	Volume endapan (ml) hari ke-		% penurunan
	0	6	
Kontrol	15,6	14,3	8,1%
Kijing lokal	15,6	6,8	56,2%
Alga berfilamen	15,6	10,3	33,8%
Alga berfilamen-kijing lokal	15,6	9,3	40,4%

Lampiran 9. Data nilai TDS selama penelitian

a. Rataan nilai TDS selama pengamatan

Perlakuan	Rataan nilai TDS (mg L^{-1}) hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol	192	190	192	195	199	202	207
Kijing lokal	192	191	193	197	201	203	208
Alga berfilamen	192	191	194	195	200	205	211
Alga berfilamen-kijing lokal	192	193	196	199	203	206	212

b. Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Row 1	7	1375,9	196,5571	39,56323
Row 2	7	1384,6	197,8	41,5737
Row 3	7	1386,9	198,1286	54,99238
Row 4	7	1399,633	199,9476	57,01439
Column 1	4	766	191,5	0
Column 2	4	763,7667	190,9417	1,849907
Column 3	4	775,3	193,825	1,728426
Column 4	4	785,5	196,375	2,635833
Column 5	4	803,1	200,775	3,375833
Column 6	4	815,3667	203,8417	2,95213
Column 7	4	838	209,5	5,962963

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	41,1925	3	13,73083	17,25608	1,56E-05	3,159908
Columns	1144,539444	6	190,7566	239,7313	3,62E-16	2,661305
Error	14,32277778	18	0,79571			
Total	1200,054722	27				

c. Uji Lanjut BNT

	Alga berfilamen – kijing lokal	Alga berfilamen	Kijing lokal	Kontrol
Kontrol	3,4	1,6	1,2	
Kijing lokal	2,1	0,3		
Alga berfilamen	1,8			
Alga berfilamen –kijing lokal				

Nilai BNT = 1,78

Perlakuan yang memberikan perbedaan nyata terhadap nilai TDS adalah perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal dengan kontrol dan perlakuan kijing lokal, serta perlakuan alga berfilamen.

Lampiran 10. Data nilai alkalinitas selama penelitian

a. Rataan nilai alkalinitas selama pengamatan

Perlakuan	Rataan nilai alkalinitas (mg L^{-1}) hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol	127	121	125	121	124	128	130
Kijing lokal	127	124	133	126	128	132	134
Alga berfilamen	127	122	132	125	127	134	135
Alga berfilamen-kijing lokal	127	127	135	138	133	135	134

b. Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Row 1	7	876,3333	125,1905	12,32804
Row 2	7	904	129,1429	16,32804
Row 3	7	902,6667	128,9524	22,57143
Row 4	7	928	132,5714	17,73016
Column 1	4	508	127	0
Column 2	4	494	123,5	5,37037
Column 3	4	524,6667	131,1667	19,96296
Column 4	4	510	127,5	54,62963
Column 5	4	512	128	13,18519
Column 6	4	529,3333	132,3333	9,407407
Column 7	4	533	133,25	3,87963

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	190,996	3	63,66534	8,931342	0,000769	3,159908
Columns	285,4365	6	47,57275	6,67378	0,000759	2,661305
Error	128,3095	18	7,128307			
Total	604,7421	27				

c. Uji Lanjut BNT

	Alga berfilamen -kijing lokal	Kijing lokal	Alga berfilamen Kontrol
Kontrol	7,4	4,0	3,8
Alga berfilamen	3,6	0,2	
Kijing lokal	3,4		
Alga berfilamen - kijing lokal			

Nilai BNT = 5,33

Perlakuan yang memberikan perbedaan nyata terhadap nilai alkalinitas adalah perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal dengan kontrol.

Lampiran 11. Data nilai NH₃-N selama penelitian

a. Rataan nilai NH₃-N selama pengamatan

Perlakuan	Rataan nilai NH ₃ -N (mg L ⁻¹) hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol	1,642	0,629	0,416	0,304	0,172	0,173	0,139
Kijing lokal	1,642	0,654	0,499	0,223	0,165	0,121	0,130
Alga berfilamen	1,642	0,790	0,638	0,179	0,106	0,155	0,124
Alga berfilamen-kijing lokal	1,642	0,757	0,476	0,176	0,150	0,222	0,154

b. Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Row 1	7	3,474803654	0,496401	0,285212
Row 2	7	3,434017595	0,490574	0,299382
Row 3	7	3,634914214	0,519273	0,3206
Row 4	7	3,577274413	0,511039	0,298952
Column 1	4	6,567701487	1,641925	0
Column 2	4	2,830215391	0,707554	0,006107
Column 3	4	2,029662588	0,507416	0,008862
Column 4	4	0,88225975	0,220565	0,003565
Column 5	4	0,592375367	0,148094	0,00087
Column 6	4	0,671250885	0,167813	0,001769
Column 7	4	0,54754441	0,136886	0,000174

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	0,003643	3	0,001214	0,361892	0,781258	3,159908
Columns	7,164474	6	1,194079	355,8574	1,08E-17	2,661305
Error	0,060399	18	0,003355			
Total	7,228516	27				

Lampiran 12. Data nilai NO₃-N selama penelitian

a. Rataan nilai NO₃-N selama pengamatan

Perlakuan	Rataan nilai NO ₃ -N (mg L ⁻¹) hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol	0,547	0,656	1,047	1,466	1,479	1,370	1,262
Kijing lokal	0,547	0,670	1,297	1,357	1,237	1,605	1,935
Alga berfilamen	0,547	0,562	1,458	1,492	1,469	1,581	1,694
Alga berfilamen-kijing lokal	0,547	0,666	1,526	1,406	1,709	1,820	1,979

b. Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Row 1	7	7,826076	1,118011	0,14666036
Row 2	7	8,648292	1,23547	0,23967712
Row 3	7	8,803206	1,257601	0,23748865
Row 4	7	9,652299	1,3789	0,31455695
Column 1	4	2,187363	0,546841	0
Column 2	4	2,553633	0,638408	0,00266459
Column 3	4	5,327665	1,331916	0,0453445
Column 4	4	5,721058	1,430264	0,00368672
Column 5	4	5,893564	1,473391	0,03715816
Column 6	4	6,376631	1,594158	0,03381859
Column 7	4	6,86996	1,71749	0,108035

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	0,239960693	3	0,079987	3,18417764	0,0489173	3,159908
Columns	5,178136482	6	0,863023	34,3558485	6,578E-09	2,661305
Error	0,452162008	18	0,02512			
Total	5,870259183	27				

c. Uji lanjut BNT

	Alga berfilamen-kijing lokal	Alga berfilamen	Kijing lokal	Kontrol
Kontrol	0,261	0,140	0,117	
Kijing lokal	0,143	0,022		
Alga berfilamen	0,121			
Alga berfilamen-kijing lokal				

Nilai BNT = 0,316

Setelah dilakukan uji lanjut BNT, diketahui bahwa antar perlakuan tidak berbeda nyata.

Lampiran 13. Data nilai PO₄-P selama penelitian

a. Rataan nilai PO₄-P selama pengamatan

Perlakuan	Rataan nilai PO ₄ -P (mg L ⁻¹) hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol	0,178	0,191	0,248	0,283	0,312	0,401	0,398
Kijing lokal	0,178	0,170	0,319	0,345	0,375	0,389	0,384
Alga berfilamen	0,178	0,135	0,283	0,249	0,354	0,377	0,362
Alga berfilamen-kijing lokal	0,178	0,162	0,311	0,314	0,347	0,376	0,351

b. Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Row 1	7	2,0110439	0,287292	0,008124
Row 2	7	2,160941	0,308706	0,009063
Row 3	7	1,9374893	0,276784	0,008968
Row 4	7	2,0384929	0,291213	0,007352
Column 1	4	0,7125579	0,178139	0
Column 2	4	0,65766	0,164415	0,000527
Column 3	4	1,1616058	0,290401	0,001036
Column 4	4	1,1903414	0,297585	0,001707
Column 5	4	1,3880597	0,347015	0,000695
Column 6	4	1,5433179	0,385829	0,000145
Column 7	4	1,4944244	0,373606	0,000458

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	0,003705671	3	0,001235	2,222951	0,120548	3,159908
Columns	0,191036227	6	0,031839	57,29921	9,37E-11	2,661305
Error	0,010002034	18	0,000556			
Total	0,204743932	27				

Lampiran 14. Data nilai DO pagi selama penelitian

a. Rataan nilai DO pagi selama pengamatan

Perlakuan	Rataan nilai DO pagi (mg L ⁻¹) hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol		1,90	2,17	2,33	2,33	2,27	2,47
Kijing lokal		1,97	2,13	2,33	2,27	2,33	2,40
Alga berfilamen		1,77	1,83	2,27	2,00	2,10	2,40
Alga berfilamen-kijing lokal		1,87	1,93	2,23	2,10	2,17	2,37

b. Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Row 1	6	13,46666667	2,244444	0,038074
Row 2	6	13,43333333	2,238889	0,025963
Row 3	6	12,36666667	2,061111	0,060185
Row 4	6	12,66666667	2,111111	0,034963
Column 1	4	7,5	1,875	0,006944
Column 2	4	8,06666667	2,016667	0,025556
Column 3	4	9,16666667	2,291667	0,0025
Column 4	4	8,7	2,175	0,023241
Column 5	4	8,86666667	2,216667	0,010741
Column 6	4	9,63333333	2,408333	0,001759

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	0,1527778	3	0,050926	12,85047	0,000201	3,287382
Columns	0,7364815	5	0,147296	37,16822	6,22E-08	2,901295
Error	0,0594444	15	0,003963			
Total	0,9487037	23				

c. Uji Lanjut BNT

	Kontrol	Kijing lokal	Alga berfilamen-kijing lokal	Alga berfilamen
Alga berfilamen	0,183	0,178	0,050	
Alga berfilamen-kijing lokal	0,133	0,128		
Kijing	0,006			
Kontrol				

Nilai BNT = 0,128

Perlakuan yang memberikan perbedaan nyata terhadap nilai DO pagi adalah perlakuan alga berfilamen dengan kontrol dan perlakuan kijing lokal, serta perlakuan kombinasi alga berfilamen-kijing lokal dengan kontrol.

Lampiran 15. Data nilai DO siang selama penelitian

a. Rataan nilai DO siang selama pengamatan

Perlakuan	Rataan nilai DO siang (mg L^{-1}) hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol	2,93	3,20	2,30	2,40	2,93	2,50	2,70
Kijing lokal	2,93	3,20	2,53	2,40	2,77	2,50	2,83
Alga berfilamen	2,93	3,10	2,17	2,30	2,70	2,50	2,70
Alga berfilamen-kijing lokal	2,93	3,20	2,13	2,40	2,93	2,63	2,67

b. Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Row 1	7	18,96333	2,709048	0,107795
Row 2	7	19,16333	2,737619	0,078832
Row 3	7	18,39667	2,628095	0,110192
Row 4	7	18,89667	2,699524	0,129002
Column 1	4	11,72	2,93	0
Column 2	4	12,7	3,175	0,0025
Column 3	4	9,133333	2,283333	0,032963
Column 4	4	9,5	2,375	0,0025
Column 5	4	11,33333	2,833333	0,014074
Column 6	4	10,13333	2,533333	0,004444
Column 7	4	10,9	2,725	0,005463

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	0,045515873	3	0,015172	1,946267	0,158334	3,159908
Columns	2,414609524	6	0,402435	51,62457	2,26E-10	2,661305
Error	0,14031746	18	0,007795			
Total	2,600442857	27				

Lampiran 16. Data nilai pH pagi selama penelitian

Perlakuan	pH pagi						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol		6,33-6,58	6,55-6,58	6,61-6,64	6,60-6,65	6,69-6,77	6,76-6,81
Kijing lokal		6,44-6,53	6,45-6,55	6,54-6,63	6,56-6,64	6,63-6,73	6,70-6,80
Alga berfilamen		6,50-6,50	6,44-6,55	6,54-6,58	6,57-6,71	6,65-6,76	6,75-6,79
Alga berfilamen-kijing lokal		6,43-6,55	6,48-6,55	6,50-6,62	6,51-6,62	6,57-6,71	6,54-6,77

Lampiran 17. Data nilai pH siang selama penelitian

Perlakuan	pH siang						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol	6,53-6,53	6,43-6,68	6,67-6,47	6,77-6,84	6,79-6,82	6,89-6,92	6,92-6,96
Kijing lokal	6,53-6,53	6,55-6,68	6,68-6,81	6,70-6,86	6,71-6,82	6,83-6,97	6,87-6,98
Alga berfilamen	6,53-6,53	6,73-6,80	6,82-6,90	6,83-6,91	6,89-6,91	6,94-6,97	6,92-6,98
Alga berfilamen-kijing lokal	6,53-6,53	6,62-6,74	6,69-6,84	6,66-6,86	6,71-6,84	6,77-6,97	6,88-6,97

Lampiran 18. Data nilai suhu selama penelitian

a. Suhu pengamatan pagi

Perlakuan	Suhu pagi (°C)						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol	25,9-26,2	25,0-25,2	24,6-24,9	25,5-25,6	25,0-25,0	24,6-24,8	
Kijing lokal	25,9-26,2	25,0-25,1	24,6-24,8	25,5-25,7	24,9-25,0	24,6-24,8	
Alga berfilamen	25,9-26,0	25,0-25,1	24,6-24,7	25,5-25,6	25,0-25,0	24,8-24,9	
Alga berfilamen-kijing lokal	26,1-26,1	25,0-25,1	24,6-24,8	25,5-25,7	25,0-25,0	24,7-25,2	

b. Suhu pengamatan siang

Perlakuan	Suhu siang						
	0	1	2	3	4	5	6
Kontrol	28,5-28,5	28,5-28,6	28,0-28,1	27,0-27,2	29,0-29,3	27,7-27,8	28,2-28,4
Kijing lokal	28,5-28,5	28,5-28,7	27,9-28,1	27,0-27,0	28,9-29,5	27,7-27,9	28,2-28,6
Alga berfilamen	28,5-28,5	28,4-28,6	27,9-28,2	27,0-27,1	29,0-29,1	27,8-27,9	28,2-28,2
Alga berfilamen-kijing lokal	28,5-28,5	28,4-28,7	27,8-28,0	27,0-27,1	29,0-29,1	27,7-27,8	28,2-28,3

c. Suhu minimum-maksimum harian

Parameter	Rataan nilai suhu hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Minimum	25.0	25.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Maksimum	29.0	30.0	30.0	30.0	31.0	29.0	30.0

Lampiran 19. Data nilai intensitas cahaya selama penelitian

a. Intensitas cahaya siang

Parameter	Nilai intensitas cahaya pagi (Lux) hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Intensitas cahaya minimum		384,0	400,0	365,0	197,9	355,0	312,0
Intensitas cahaya maksimum		412,0	433,0	395,0	222,0	377,5	331,0
Rata-rata		400,0	416,4	382,7	210,4	365,1	322,4

b. Intensitas cahaya siang

Parameter	Nilai intensitas cahaya siang (Lux) hari ke-						
	0	1	2	3	4	5	6
Intensitas cahaya minimum	5630,0	6160,0	5500,0	4350,0	6520,0	4860,0	3800,0
Intensitas cahaya maksimum	5850,0	6940,0	5940,0	4700,0	7720,0	5270,0	4190,0
Rata-rata	5736,7	6419,8	5699,0	4494,0	7117,6	5070,3	3951,7

Lampiran 20. Data bobot alga awal dan akhir

Perlakuan	Bobot alga (g) hari ke-		%perubahan
	0	6	
Alga bafilamen	9,0000	9,5943	6,6 %
Alga bafilamen-kijing lokal	9,0000	9,6536	7,3 %

Lampiran 21. Data bobot kijing lokal awal dan akhir

Perlakuan	Bobot kijing (g) hari ke-		%perubahan
	0	6	
Kijing lokal	349,2	350,8	0,47 %
Alga bafilamen-kijing lokal	349,8	352,0	0,63 %

Lampiran 22. Data hasil analisis proksimat

Sampel	Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Protein (%)	Lemak (%)	Karbohidrat		Nitrogen (N)
					Serat kasar (%)	BETN (%)	
Pakan	10,66	14,46	34,07	4,42	3,53	32,86	5,45
Endapan awal	73,84	21,55	1,06	0,35	2,09	1,11	0,17
Endapan akhir	77,06	20,44	0,95	0,29	0,79	0,47	0,15
Kijing awal	82,63	6,74	6,28	1,06	2,91	0,38	1,01
Kijing akhir	81,90	5,67	6,23	1,07	1,8	3,33	1,00
<i>Spirogyra</i> awal	88,67	4,94	2,46	1,00	2,36	0,57	0,39
<i>Spirogyra</i> akhir	84,27	8,28	2,53	0,88	0,69	3,35	0,41

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Curup, Bengkulu, tanggal 2 April 1986. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara, pasangan Samsuri dan Juairiah. Pendidikan Program Sarjana diselesaikan pada tahun 2008 di Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Penulis pernah bekerja sebagai analis lingkungan dan *Quality Management System* di CPP Grup - Wachyuni Mandira Site pada tahun 2008 – 2011. Penulis melanjutkan pendidikan program Pascasarjana pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Perairan IPB tahun 2011. Beasiswa pendidikan program Pascasarjana diperoleh dari Bakrie Centre Foundation. Karya ilmiah berjudul Pemanfaatan Filamentous Algae (*Spirogyra* sp.) dan Kijing Lokal (*Pilsbryoconcha exilis*) sebagai Agen Bioremediasi Limbah Budidaya Sidat telah disajikan pada Seminar Nasional Bioremediasi ke-3 di Bogor pada 23-24 Oktober 2013. Karya ilmiah tersebut merupakan bagian dari tesis penulis.