



# **PENGURANGAN BAHAN ORGANIK AIR LIMBAH PEMELIHARAAN IKAN LELE (*Clarias* sp.) MENGGUNAKAN METODE ELEKTROKOAGULASI**

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

**FITRI AFINA RADITYANI**



**DEPARTEMEN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN  
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2015**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



#### Hak Cipta Diliindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



## PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul Pengurangan Bahan Organik Air Limbah Pemeliharaan Ikan Lele (*Clarias* sp.) menggunakan Metode Elektrokoagulasi 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 usulan penelitian ini.

Bogor, Oktober 2015

*Fitri Afina Radityani*  
NIM C24110077

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



## ABSTRAK

FITRI AFINA RADITYANI. Pengurangan Bahan Organik Air Limbah Pemeliharaan Ikan Lele (*Clarias* sp.) menggunakan Metode Elektrokoagulasi. Dibimbing oleh SIGID HARIYADI dan SUPRIHATIN.

Metode elektrokoagulasi dapat digunakan untuk mengolah limbah hasil pemeliharaan ikan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan besar tegangan listrik dan waktu yang efektif dalam pengolahan air limbah pemeliharaan ikan menggunakan metode elektrokoagulasi. Penelitian ini dilakukan menggunakan perlakuan perbedaan besar tegangan (6 dan 12 V) selama 15, 30, 45, dan 60 menit. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah perubahan nilai rata-rata parameter kualitas air dari kondisi awal air limbah. Penurunan ditunjukkan pada tegangan 12 V oleh nilai kebutuhan oksigen kimiawi (COD) selama 60 menit sebesar 82,89%; ortofosfat selama 45 menit (67,49%); kekeruhan selama 60 menit (69,65%); warna selama 60 menit (70,49%); partikel tersuspensi (TSS) selama 15 menit (31,90%); dan partikel terlarut (TDS) selama 60 menit (10,31%). Selanjutnya, peningkatan ditunjukkan oleh amonia bebas pada tegangan 12V selama 15 menit sebesar 291,09%; amonium pada tegangan 12 V selama 30 menit (8,85%); dan pH pada tegangan 6 V selama 60 menit (16%). Perlakuan terbaik yang dapat digunakan dalam mengolah air limbah pemeliharaan ikan adalah perlakuan tegangan 12 V selama 30 menit.

Kata kunci: Bahan organik, elektrokoagulasi, kualitas air, tegangan, waktu.

## ABSTRACT

FITRI AFINA RADITYANI. The Decrease of Organic Compounds from Catfish (*Clarias* sp.) Aquaculture Waste Water using Electrocoagulation Method. Supervised by SIGID HARIYADI and SUPRIHATIN.

The electrocoagulation method can be used for aquaculture waste water treatment. This study aimed to determine the effective electrical voltage and time consumed for aquaculture waste water treatment using electrocoagulation method. The present study used different electrical voltages, i.e 6 and 12 V and time variable, i.e. 15, 30, 45, and 60 minutes. The results indicated the changes of water quality from the primary condition. The decreases parameter in 12V are chemical oxygen demand (COD) (82,89%) for 60 minutes; orthophosphate (67,49%) for 45 minutes; turbidity (69,65%) for 60 minutes; colour (70,49%) for 60 minutes; total suspended solid (TSS) (31,90%) for 15 minutes; and the total dissolved solid (TDS) (10,31%) for 60 minutes. The increases parameter are pH (16%) in 6 V for 60 minutes; free ammonia (291,09%) in 12 V for 15 minutes; ammonium (8,85%) in 12 V for 30 minutes. Electrocoagulation method using 12 V in 30 minutes showed the best result for aquaculture waste water treatment.

Keywords: Electrical voltage, electrocoagulation, organic compounds, time, water quality.



# **PENGURANGAN BAHAN ORGANIK AIR LIMBAH PEMELIHARAAN IKAN LELE (*Clarias sp.*) MENGGUNAKAN METODE ELEKTROKOAGULASI**

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

**FITRI AFINA RADITYANI**

Skripsi  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Perikanan  
pada  
Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan  
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan  
Institut Pertanian Bogor

**DEPARTEMEN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN  
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2015**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



#### Hak Cipta Diliindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Judul Skripsi: Pengurangan Bahan Organik Air Limbah Pemeliharaan Ikan Lele  
(*Clarias sp.*) menggunakan Metode Elektrokoagulasi

Nama : Fitri Afina Radityani

NIM : C24110077

Disetujui oleh

Dr Ir Sigid Hariyadi, MSc  
Pembimbing I

Prof Dr-Ing Ir Suprihatin  
Pembimbing II

Diketahui oleh

Dr Ir M Mukhlis Kamal, MSc  
Ketua Departemen

Anggal Lulus:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



## PRAKATA

Puji dan syukur Penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada Penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Pengurangan Bahan Organik Air Limbah Pemeliharaan Ikan Lele (*Clarias* sp.) menggunakan Metode Elektrokoagulasi. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk melakukan penelitian pada program studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Institut Pertanian Bogor yang telah memberikan kesempatan bagi Penulis untuk melaksanakan studi
2. Dr Ir Luki Adrianto, MSc selaku dosen pembimbing akademik atas arahan dan masukan selama Penulis melaksanakan studi
3. Dr Ir Sigid Hariyadi, MSc dan Prof Dr-Ing Ir Suprihatin selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, kritik maupun saran kepada Penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini
4. Dr Ir Hefni Effendi, MSc selaku penguji tamu Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan
5. Ali Mashar, SPi, MSi selaku perwakilan komisi pendidikan Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan
6. Kedua orang tua dan adik beserta keluarga besar yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan doa kepada Penulis
7. Seluruh staf Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan, serta seluruh staf Tata Usaha Departemen MSP, FPIK, IPB
8. Ibu Hendriarianti selaku pakar di bidang pengolahan limbah menggunakan elektrokoagulasi yang senantiasa membantu melalui komunikasi pribadi
9. Pak Heri dan Kak Keni selaku pemilik kolam ikan lele yang telah memberikan izin kepada Penulis untuk menganalisis air dari kolam lele tersebut
10. Keluarga besar Laboratorium Bio Mikro, teman-teman MSP 48, P05-TPB
11. Teman seperjuangan: Anes, Goran, Desy, Reza P, Vena, kak Ghulam, Dewi Masitoh, Ida, Syahrir, Nopi, Bayu, Esti, Dewi, Astuti, mbak Atika
12. Seluruh pihak yang telah membantu Penulis dalam proses menyelesaikan hasil penelitian ini.

Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat.

Bogor, Oktober 2015

*Fitri Afina Radityani*





## DAFTAR ISI

PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Perumusan Masalah	1
Tujuan Penelitian	2
METODE	3
Waktu dan Tempat	3
Tahapan Penelitian	3
Penelitian pendahuluan	3
Penelitian utama	3
Analisis Data	5
Sidik ragam rancangan faktorial	5
Persen perubahan kualitas air	6
Kebutuhan energi dan biaya	6
HASIL DAN PEMBAHASAN	7
Hasil	7
COD	7
Amonia bebas	8
Amonium	8
Ortofosfat	9
pH	10
Kekeruhan	11
Warna	12
TSS	13
TDS	13
Kebutuhan energi dan biaya	14
Pembahasan	15
KESIMPULAN DAN SARAN	18
Kesimpulan	18
Saran	18
DAFTAR PUSTAKA	18
LAMPIRAN	21
RIWAYAT HIDUP	

Hak Cipta Diliindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## DAFTAR TABEL

1	Rincian perlakuan pengolahan air limbah pemeliharaan ikan menggunakan metode elektrokoagulasi	5
2	Parameter kualitas air, metode, dan alat ukur yang digunakan selama penelitian	5
3	Sidik ragam rancangan faktorial	5
4	Kebutuhan energi pengolahan limbah pemeliharaan ikan menggunakan metode elektrokoagulasi ( $\text{KwhL}^{-1}$ )	14
5	Biaya operasional yang dibutuhkan dalam pengolahan limbah pemeliharaan ikan menggunakan metode elektrokoagulasi ( $\text{RpL}^{-1}$ )	15

## DAFTAR GAMBAR

1	Skema perumusan masalah pengolahan air limbah pemeliharaan ikan menggunakan teknik elektrokoagulasi	2
2	Ilustrasi rangkaian elektrokoagulasi untuk menurunkan bahan organik pada air limbah pemeliharaan ikan	4
3	Perubahan konsentrasi COD ( $\text{mgL}^{-1}$ ) pada pengolahan limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda	7
4	Perubahan konsentrasi amonia bebas ( $\text{mgL}^{-1}$ ) pada pengolahan air limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda	8
5	Perubahan konsentrasi amonium ( $\text{mgL}^{-1}$ ) pada pengolahan air limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda	9
6	Perubahan konsentrasi ortofosfat ( $\text{mgL}^{-1}$ ) pada pengolahan air limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda	10
7	Perubahan pH pada pengolahan air limbah pemeliharaan ikan lele pada besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda	11
8	Perubahan kekeruhan (NTU) pada pengolahan air limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda	11
9	Perubahan warna (PtCo) pada pengolahan air limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda	12
10	Perubahan TSS ( $\text{mgL}^{-1}$ ) pada pengolahan limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda	13
11	Perubahan TDS ( $\text{mgL}^{-1}$ ) pada pengolahan limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda	14

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



## DAFTAR LAMPIRAN

1	Foto-foto kondisi awal dan akhir perlakuan, rangkaian reaktor elektrokoagulasi beserta plat yang digunakan.....	21
2	Hasil analisis parameter kualitas air pada air limbah pemeliharaan ikan lele .....	22
3	Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter COD.....	23
4	Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter amonia bebas .....	24
5	Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter amonium .....	25
6	Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter ortofosfat.....	26
7	Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter pH .....	27
8	Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter kekeruhan .....	28
9	Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter warna .....	29
10	Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter TSS .....	30
11	Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter TDS.....	31
12	Skor dari hasil analisis parameter kualitas air limbah pemeliharaan lele yang telah diolah menggunakan metode elektrokoagulasi .....	32
13	Contoh Penghitungan Kebutuhan Energi dan Biaya.....	33
14	Penghitungan estimasi biaya di kolam .....	33

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



#### Hak Cipta Diliindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Kegiatan pemeliharaan ikan di kolam umumnya memerlukan kolam pengendapan sebagai wadah untuk menampung air limbah dari kegiatan pemeliharaan ikan tersebut. Kolam pengendapan ditempatkan terpisah dari kolam pemeliharaan ikan agar kualitas dari air yang digunakan untuk pemeliharaan ikan tetap terjaga (Kordi K 2008). Limbah dari kegiatan pemeliharaan ikan umumnya dihasilkan dari penumpukan sisa pakan dan hasil ekskresi ikan yang dipelihara. Limbah yang dihasilkan dari kegiatan pemeliharaan ikan mengandung bahan organik berupa partikel (Saleem *et al.* 2011).

Partikel bahan organik yang terkandung dalam limbah pemeliharaan ikan, jika dibiarkan menumpuk, dapat menyebabkan peningkatan kekeruhan di perairan. Peningkatan kekeruhan tersebut dapat mengganggu sistem metabolisme ikan (Johnson dan Chen 2006). Metabolisme ikan yang terganggu dapat menurunkan jumlah produksi ikan yang dipelihara.

Optimalisasi penggunaan air dalam pemeliharaan ikan dapat diatasi menggunakan sistem resirkulasi tertutup (Rahardja *et al.* 2010). Pada pemeliharaan ikan dengan sistem resirkulasi tertutup, air limbah dengan partikel yang telah mengendap dapat dialirkan kembali ke kolam-kolam pemeliharaan ikan. Apabila air limbah yang akan dialirkan kembali tersebut memiliki kualitas tidak baik, maka air tersebut akan memberikan dampak buruk terhadap ikan yang dipelihara. Hal ini menyebabkan perlu dilakukannya pengolahan limbah untuk menjaga kestabilan kualitas air di kolam pemeliharaan ikan.

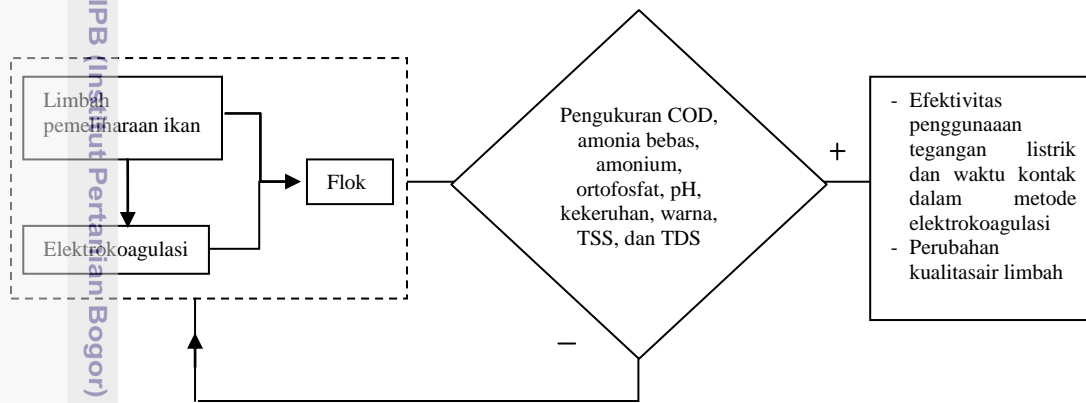
Pengolahan limbah hasil pemeliharaan ikan dapat dilakukan menggunakan metode elektrokoagulasi. Metode elektrokoagulasi merupakan salah satu metode pengolahan air limbah dengan memanfaatkan plat logam sebagai anoda dan katoda. Metode ini biasa digunakan pada pengolahan air limbah industri non perikanan dan memberikan hasil yang cukup efektif dalam menurunkan nilai kekeruhan, warna, amonia bebas, dan logam berat (Adhoum *et al.* 2004; Yulianto *et al.* 2009). Penggunaan metode elektrokoagulasi pada pengolahan limbah dari kolam pemeliharaan ikan belum banyak dilakukan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk menentukan tingkat efektivitas penggunaan metode elektrokoagulasi dalam menurunkan bahan organik dari limbah pemeliharaan ikan.

### Perumusan Masalah

Bahan organik yang terdapat dalam air limbah pemeliharaan ikan dapat berupa padatan terlarut maupun tersuspensi. Bahan organik dalam air limbah pemeliharaan ikan dapat dikurangi menggunakan metode koagulasi, baik secara konvensional maupun elektrokoagulasi. Metode elektrokoagulasi merupakan salah satu cara pengolahan air limbah dengan memanfaatkan plat logam berupa besi, aluminium, atau *stainless steel* yang dialiri arus listrik dan dicelupkan ke

dalam air limbah. Terbentuknya gelembung udara di dalam air limbah yang disertai dengan pelepasan  $Al^{3+}$  atau  $Fe^{2+}$  dari plat elektroda akan diikuti dengan pembentukan flok  $Al(OH)_n$  atau  $Fe(OH)_n$  yang mampu mengikat partikel tersuspensi di dalam air limbah pemeliharaan ikan.

Pada penelitian ini dilakukan perlakuan berupa variasi waktu dan tegangan listrik yang dialirkan ke plat aluminium. Perlakuan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa efektif penggunaan metode elektrokoagulasi dalam mengolah air limbah pemeliharaan ikan berdasarkan besar tegangan dan waktu kontak yang diberikan. Peningkatan kualitas air dapat ditentukan oleh perubahan nilai parameter kualitas air yang menunjukkan penurunan bahan organik pada air limbah. Beberapa parameter kualitas air yang akan diujikan adalah kebutuhan oksigen kimiawi (COD), nutrisi (amonia bebas, amonium dan ortofosfat), pH, kekeruhan, warna, padatan tersuspensi (TSS), dan padatan terlarut (TDS). Uraian tersebut dapat dirumuskan secara singkat dalam bentuk diagram alir seperti yang tertera pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema perumusan masalah pengolahan air limbah pemeliharaan ikan menggunakan teknik elektrokoagulasi

### Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan besar tegangan listrik dan lama waktu yang efektif dalam pengolahan air limbah pemeliharaan ikan menggunakan metode elektrokoagulasi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Bogor Agricultural University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.  
 2. Dilarang memurnikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## METODE

### Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret sampai dengan Mei 2015. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Biomikro dan Laboratorium Fisika dan Kimia Perairan (Divisi Produktivitas dan Lingkungan Perairan), Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Pengambilan air limbah dilakukan di kolam pemeliharaan ikan lele berbetuk tabung berukuran 300x140 cm yang bertempat di Cibereum, Kabupaten Bogor. Kolam tersebut berisi ikan lele berukuran 5-7 cm yang dipelihara selama 40-60 hari dengan pemanenan dilakukan setiap 7 hari.

### Tahapan Penelitian

Penelitian pengurangan bahan organik limbah pemeliharaan ikan menggunakan metode elektrokoagulasi dibagi menjadi dua tahap, yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Tujuan dari penelitian pendahuluan adalah menentukan jenis plat elektroda dan besar tegangan yang dapat diterapkan pada penelitian utama berdasarkan terbentuknya flok di gelas piala, sedangkan tujuan dari penelitian utama adalah menentukan besar tegangan dan lama waktu yang efektif dalam menurunkan bahan organik pada air limbah menggunakan metode elektrokoagulasi.

#### Penelitian pendahuluan

Tahap penelitian pendahuluan meliputi penggunaan dua jenis plat elektroda, yaitu aluminium dan besi berukuran 15 cm x 2 cm x 0,20 cm, dengan pemberian tegangan sebesar 6 V dan 12 V pada waktu 15 menit. Jarak antarelektroda yang diujikan sebesar 2 cm. Penelitian pendahuluan dilakukan menggunakan gelas piala 1000 mL sebagai wadah air limbah yang akan diolah dengan metode elektrokoagulasi.

#### Penelitian utama

Kegiatan yang dilakukan pada tahap penelitian utama adalah penentuan besar tegangan dan waktu dalam menurunkan bahan organik pada air limbah berdasarkan hasil dari penelitian pendahuluan. Penelitian ini dilakukan menggunakan sistem terpusat (*batch*) dengan dua kelompok perlakuan, yaitu besar tegangan dan waktu.

Penelitian utama dilakukan menggunakan gelas beker dengan volume 1000 mL untuk menampung 800 mL air limbah kegiatan pemeliharaan ikan lele. Air limbah yang sudah diolah menggunakan metode elektrokoagulasi selanjutnya diambil sebanyak 500 mL untuk dianalisis. Rancangan kegiatan penelitian ini

menggunakan rancangan percobaan faktorial dengan waktu kontak dan besar tegangan sebagai perlakuan yang saling berinteraksi dan diulang sebanyak tiga kali.

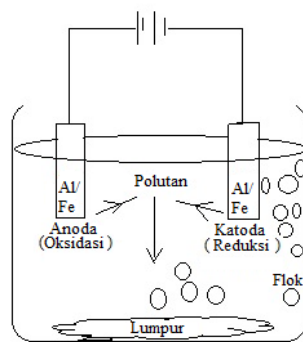
Hasil dari penelitian utama dianalisis menggunakan rancangan faktorial. Rancangan faktorial merupakan metode pengujian dalam statistik yang menggunakan dua atau lebih faktor pada hasil dari suatu proses. Rancangan faktorial dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui respon dan interaksi air limbah terhadap faktor besar tegangan dan lama waktu pengoperasian rangkaian elektrokoagulasi. Analisis menggunakan rancangan faktorial ditunjukkan dalam rumus matematis seperti yang dijelaskan oleh Yusnandar (2002) sebagai berikut,

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + A_i * B_j + \epsilon_{ijk}$$

Keterangan:

- $Y_{ijk}$  = Pengaruh pengamatan pada faktor A ke-i, faktor B ke-j dan ulangan ke-k
- $\mu$  = Nilai tengah
- $A_i$  = Pengaruh faktor A ke-i (besar tegangan yang diberikan ke-i)
- $B_j$  = Pengaruh faktor B ke-j (lama waktu kontak plat dengan air limbah ke-j)
- $A_i * B_j$  = Pengaruh interaksi faktor A dan B
- $\epsilon_{ijk}$  = Pengaruh acak yang menyebar normal  $(0, \sigma^2)$ .

Kedua plat elektroda yang digunakan dialiri listrik dengan besar tegangan berbeda untuk setiap perlakuan, yaitu 6 V dan 12 V pada jarak 2 cm. Besar tegangan yang digunakan didasarkan pada hasil penelitian pendahuluan dan besar tegangan optimum dalam mengolah air limbah oleh Holt *et al.* (2005) dan Saleem *et al.* (2011). Pada penelitian ini, perlakuan waktu dibagi dalam empat kelompok, yaitu 15, 30, 45, dan 60 menit. Skema rangkaian reaktor elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah pemeliharaan ikan disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Ilustrasi rangkaian elektrokoagulasi untuk menurunkan bahan organik pada air limbah pemeliharaan ikan

Analisis kondisi awal air limbah didapat dari tiga contoh air limbah yang belum diolah menggunakan elektrokoagulasi. Analisis kondisi akhir air limbah didapatkan dari 27 buah contoh (1 kondisi awal dan 8 perlakuan dengan 3 kali ulangan). Analisis kualitas air pada penelitian ini didasarkan pada metode analisis APHA (Rice *et al.* 2012) dan EPA (EPA 2013). Rincian perlakuan yang diberikan



pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1 dengan analisis kualitas air seperti yang disajikan di Tabel 2.

Tabel 1 Rincian perlakuan pengolahan air limbah pemeliharaan ikan menggunakan metode elektrokoagulasi

Perlakuan	Besar tegangan (Volt cm <sup>-2</sup> )	Waktu (menit)	Keterangan
Kondisi awal	0	0	3 ulangan
1	6	15	3 ulangan
2	6	30	3 ulangan
3	6	45	3 ulangan
4	6	60	3 ulangan
5	12	15	3 ulangan
6	12	30	3 ulangan
7	12	45	3 ulangan
8	12	60	3 ulangan

Tabel 2 Parameter kualitas air, metode, dan alat ukur yang digunakan selama penelitian

No	Parameter	Satuan	Metode	Alat ukur
1	COD	mgL <sup>-1</sup>	Refluks tertutup	Spektrofotometer
2	Total Nitrogen Amonia (TAN)*	mgL <sup>-1</sup>	<i>Phenate</i>	Spektrofotometer
3	Ortofosfat	mgL <sup>-1</sup>	<i>Automated ascorbic acid</i>	Spektrofotometer
4	pH	-	<i>Electrometric</i>	pH meter
5	Kekeruhan	NTU	<i>Nephelometric</i>	Turbiditi meter
6	Warna	PtCo	Panjang gelombang tunggal	Spektrofotometer
7	TSS	mgL <sup>-1</sup>	Pengeringan pada suhu 103-105°C	Timbangan analitik
8	TDS	mgL <sup>-1</sup>	Pengeringan pada suhu 180°C	Timbangan analitik

Keterangan:

\*Penentuan nilai amonia bebas dan amonium didasarkan pada perhitungan nilai TAN dengan pKa, pH dan suhu pada EPA (2013) dengan rumus:

$$\text{NH}_4^+ = \text{TAN} / (1 + \text{antilog}(\text{pH} - \text{pKa})) = \text{TAN} - \text{NH}_3 \text{ (Wood 1993 in EPA 2013);}$$

$$\text{pKa} = 0,09018 + (2729,92 / (273 + T)) \text{ (Emerson et al 1975).}$$

## Analisis Data

### Sidik ragam rancangan faktorial

Sidik ragam rancangan pengamatan berfaktor pada penelitian ini disajikan pada Tabel 3. Sidik ragam rancangan faktorial ini mengacu pada Walpole (1993).

Tabel 3 Sidik ragam rancangan faktorial

Sumber Keragaman	Derajat bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F <sub>hitung</sub>	F <sub>tabel</sub>
Ulangan (kelompok)	N	JKU	-	-	-
Perlakuan (A)	i - 1	JKA	KTA	KTA/KT S	α/2, dbA, dbS
Perlakuan (B)	j - 1	JKB	KTB	KTB/KT S	α/2, dbB, dbS
Interaksi perlakuan (AB)	(i - 1) - (j - 1)	JK(AB)	KT(AB)	KT(AB)/ KTS	α/2, dbAB, dbS
Galat	ij(n - 1)	JKS	KTS	-	-
Total	ijn - 1	JKT	-	-	-

Hipotesis:

$H_0'$  :  $A_1 = A_2 = \dots = A_i = 0$ ; Perbedaan besar tegangan yang diberikan pada air limbah pemeliharaan ikan sama dengan nol.

$H_1'$  : Sekurang-kurangnya satu  $A_i$  tidak sama dengan nol.

$H_0''$  :  $B_1 = B_2 = \dots = B_j = 0$ ; Perbedaan lama waktu kontak plat dengan air limbah pemeliharaan ikan sama dengan nol.

$H_1''$  : Sekurang-kurangnya satu  $B_j$  tidak sama dengan nol.

$H_0'''$  :  $(AB)_{11} = (AB)_{12} = \dots = (AB)_{ij} = 0$ ; Interaksi antara lama waktu dan besar tegangan yang diberikan pada limbah pemeliharaan ikan sama dengan nol.

$H_1'''$  : Sekurang-kurangnya satu  $(AB)_{ij}$  tidak sama dengan nol.

**Persen perubahan kualitas air**

Kualitas air merupakan kondisi fisik, kimia, dan biologi yang menggambarkan kondisi perairan (Boyd dan Lichtkoppler 1979). Kualitas air dianalisis sesudah proses elektrokoagulasi dilaksanakan. Analisis kualitas air dilakukan untuk melihat peningkatan kualitas air di kolam pemeliharaan ikan dengan mengacu pada perhitungan yang diajukan oleh Arifin (2000), yaitu

$$E(\%) = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

Keterangan:

A = Nilai kualitas air sebelum pengolahan

B = Nilai kualitas air setelah pengolahan

E = Efektivitas pengolahan

Tingkat efektivitas pengolahan air limbah ditentukan dari nilai sebaran setiap parameter yang diamati menurut Arifin (2000), yaitu 0-20% (buruk sekali); 21-40% (buruk); 41-60% (sedang); 61-80% (baik); dan 81-100% (baik sekali). Berdasarkan kriteria tersebut serta beberapa indikator lain disusun suatu matriks pembobotan tingkat efektivitas pengolahan air limbah untuk memilih perlakuan pengolahan yang terbaik seperti yang tertera pada Lampiran 12.

**Kebutuhan energi dan biaya**

Pengolahan air limbah pemeliharaan lele menggunakan metode elektrokoagulasi membutuhkan listrik sebagai sumber energi beserta biaya selama proses pengolahan berlangsung. Aulianur (2013) menyatakan kebutuhan energi didasarkan pada besar daya yang digunakan serta lama waktu proses pengolahan air limbah berlangsung sehingga dapat dihitung dengan rumus:

$$W = P \times t$$

Keterangan:

W = Energi listrik yang digunakan (Kwh)

P = Daya (Watt)

t = Waktu (Jam)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak cipta milik IPB Institut Pertanian Bogor

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.  
 2. Dilarang memurnikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

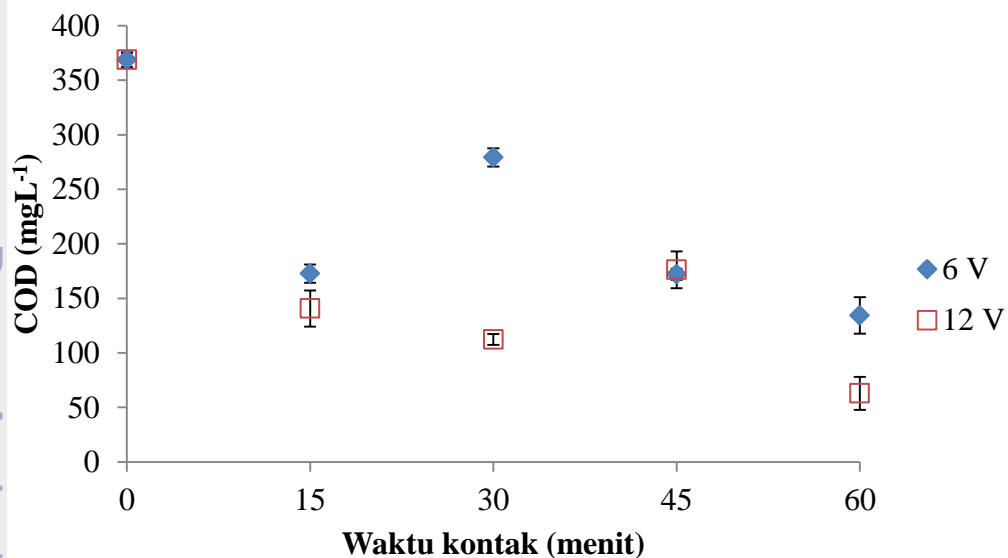
Pengolahan air limbah pemeliharaan lele dilakukan menggunakan perbedaan besar tegangan dan waktu kontak antara plat Al dengan air limbah, yaitu 6 dan 12 V pada waktu 15, 30, 45, dan 60 menit. Hasil yang didapat dari penelitian ini meliputi kondisi air limbah sebelum dan sesudah perlakuan seperti yang tertera pada Lampiran 1 dan 2.

#### COD

Jumlah total oksigen total yang diperlukan untuk mengoksidasi seluruh bahan organik di air dapat ditentukan dengan mengetahui kadar COD pada air tersebut. Nilai COD dapat meningkat jika bahan organik di air meningkat (Boyd 1988).

Konsentrasi COD pada penelitian ini cenderung menurun setelah diolah menggunakan metode elektrokoagulasi dengan waktu dan tegangan yang berbeda. Penurunan rata-rata konsentrasi COD terbesar terjadi pada besar tegangan 12 V selama 60 menit, yaitu sebesar 82,89% dari kondisi awal.

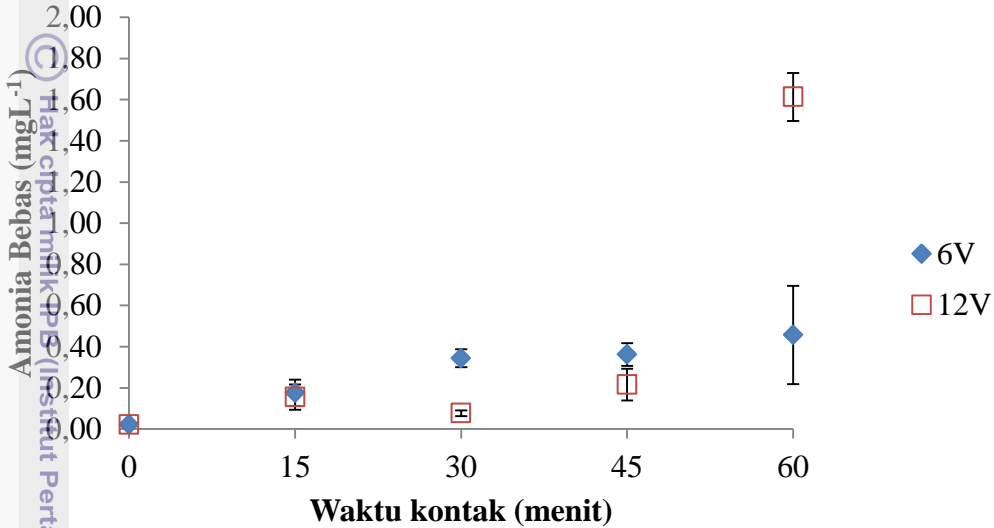
Hasil uji statistik menunjukkan adanya perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ) untuk seluruh perlakuan dan interaksi antar perlakuan. Adanya perbedaan nyata pada setiap perlakuan menyebabkan perlunya dilakukan uji lanjut Tukey untuk melihat besar pengaruh yang diberikan pada setiap perlakuan. Hasil yang didapat dari uji lanjut Tukey menunjukkan adanya perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ) pada perlakuan waktu 15 dengan 30; dan 60 dengan 15, 30, 45 menit (Lampiran 3). Grafik perubahan konsentrasi COD selama penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Perubahan konsentrasi COD pada pengolahan limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda

**Amonia bebas**

Amonia bebas (NH<sub>3</sub>) merupakan salah satu bentuk nitrogen anorganik di perairan yang dihasilkan melalui proses pemecahan nitrogen organik, seperti protein dan urea, maupun nitrogen anorganik dari dekomposisi bahan organik oleh mikroba atau jamur (Effendi 2007). Grafik perubahan konsentrasi amonia bebas selama penelitian berlangsung dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Perubahan konsentrasi amonia bebas pada pengolahan airlimbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda

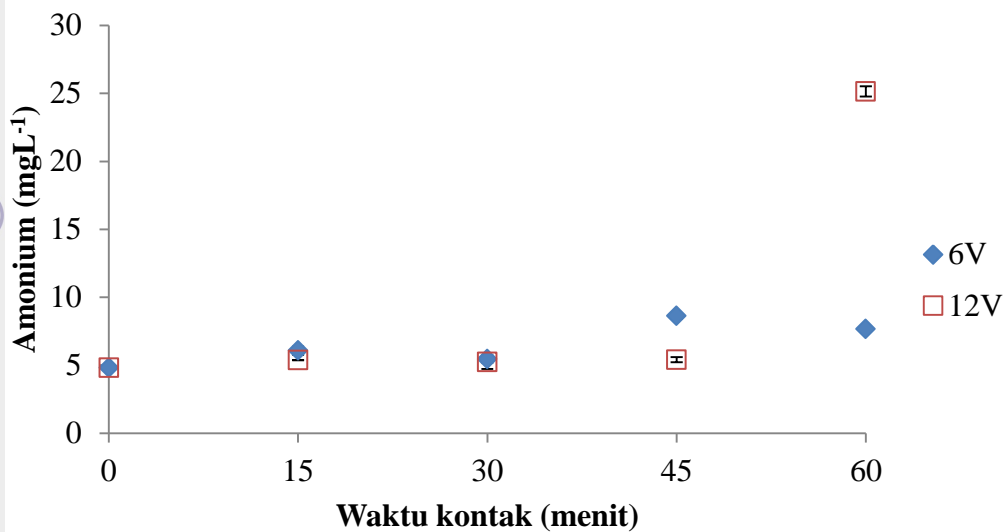
Berdasarkan Gambar 4 diketahui terdapat perubahan konsentrasi amonia bebas pada air limbah pemeliharaan ikan lele setelah diolah menggunakan metode elektrokoagulasi dengan waktu kontak yang berbeda. Konsentrasi amonia bebas pada perlakuan berdasarkan perbedaan besar tegangan cenderung meningkat. Peningkatan rata-rata tertinggi konsentrasi amonia bebas terjadi pada besar tegangan 12 V selama 60 menit, yaitu sebesar 7873,95% dan peningkatan rata-rata konsentrasi amonia bebas terendah terjadi pada besar tegangan 12 V selama 30 menit, yaitu sebesar 291,09%.

Hasil uji statistik menunjukkan adanya perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ) pada perubahan konsentrasi amonia bebas berdasarkan perlakuan serta interaksi antar perlakuan sehingga perlu dilakukan uji lanjut Tukey. Hasil uji lanjut Tukey menunjukkan adanya perbedaan pengaruh nyata ( $p < 0,05$ ) pada setiap perlakuan waktu (Lampiran 4).

**Amonium**

Amonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) merupakan bentuk ion anorganik dari nitrogen yang dapat ditemukan di limbah perkotaan, industri, pertanian, atau hasil dari dekomposisi nitrogen organik pada air limbah (Franus dan Widown 2010). Grafik

perubahan konsentrasi amonium selama penelitian berlangsung dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Perubahan konsentrasi amonium pada pengolahan air limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda

Berdasarkan Gambar 5 peningkatan konsentrasi amonium pada air limbah pemeliharaan ikan lele setelah diolah menggunakan metode elektrokoagulasi dengan waktu kontak yang berbeda. Peningkatan rata-rata tertinggi konsentrasi amonium terjadi pada besar tegangan 12 V selama 60 menit, yaitu sebesar 423,28% dan peningkatan rata-rata konsentrasi amonium terendah terjadi pada besar tegangan 12 V selama 30 menit, yaitu sebesar 8,85%.

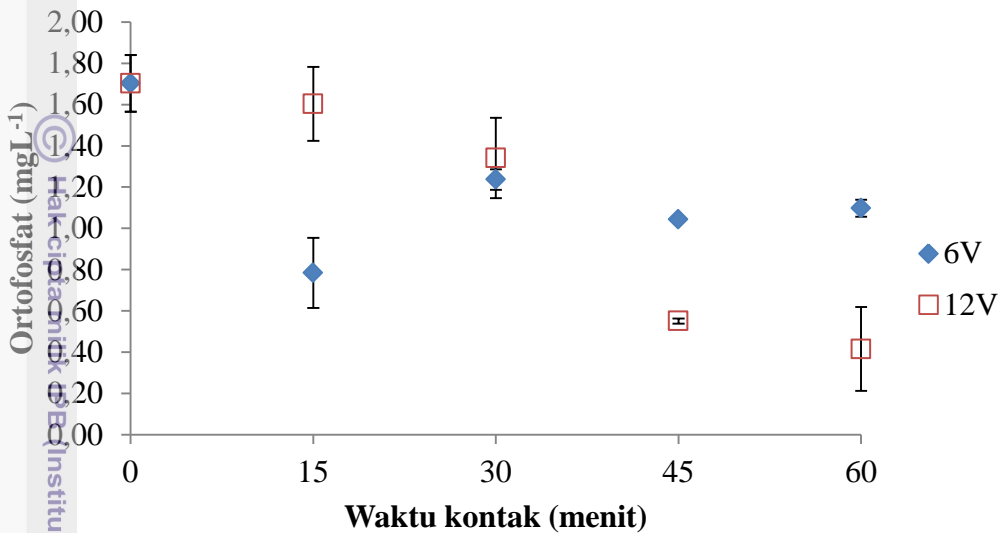
Hasil uji statistik menunjukkan adanya perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ) pada perlakuan beserta interaksi antar perlakuan terhadap perubahan konsentrasi amonium, sehingga perlu dilakukan uji lanjut Tukey. Hasil yang didapat dari uji lanjut Tukey adalah adanya perbedaan besar pengaruh nyata ( $p < 0,05$ ) pada perlakuan waktu 60 menit dengan 15, 30 dan 45 menit (Lampiran 5).

### Ortofosfat

Ortofosfat merupakan salah satu bentuk fosfat terlarut dalam air dan dapat dimanfaatkan langsung oleh tumbuhan air (Komarawidjaja dan Kurniawan 2008). Pada Gambar 6 dapat dilihat kecenderungan penurunan konsentrasi ortofosfat setelah perlakuan. Penurunan rata-rata konsentrasi ortofosfat terbesar terjadi pada besar tegangan 12 V selama 45 menit, yaitu sebesar 67,49% dari kondisi awal air limbah.

Berdasarkan hasil uji statistik didapatkan perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ) pada perlakuan waktu kontak dan interaksi antar perlakuan, sedangkan pada perlakuan tegangan tidak menunjukkan perbedaan nyata ( $p > 0,05$ ). Adanya perbedaan nyata pada perlakuan waktu kontak dan interaksi antar perlakuan

menyebabkan perlu dilakukannya uji lanjut Tukey. Hasil yang didapat dari uji lanjut Tukey adalah adanya perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ) terhadap beberapa perlakuan waktu kontak, kecuali pada perlakuan waktu 15 dengan 30 menit dan 45 dengan 60 menit (Lampiran 6).



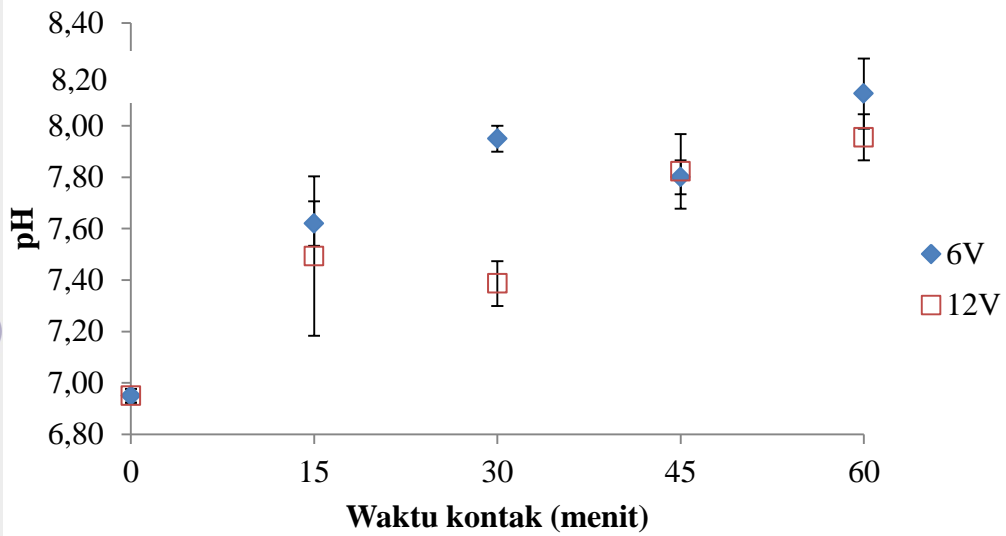
Gambar 6 Perubahan konsentrasi ortofosfat pada pengolahan air limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda

**pH**

Nilai derajat keasaman (pH) menunjukkan besar nilai keasaman atau alkalinitas dari suatu cairan. Pengukuran pH pada proses pengolahan limbah penting dilakukan, karena proses pencernaan di dalam tubuh bakteri aerob hanya dapat berlangsung dengan baik pada pH 5-10 (Soewandita dan Sudiana 2010).

Pada Gambar 7 dapat dilihat adanya perubahan nilai pH air limbah pemeliharaan ikan lele setelah diolah menggunakan metode elektrokoagulasi dengan waktu kontak dan tegangan yang berbeda. Nilai pH pada kedua perlakuan cenderung meningkat. Peningkatan nilai rata-rata pH terbesar terjadi pada besar tegangan 6 V selama 60 menit, yaitu sebesar 16% dari kondisi awal air limbah.

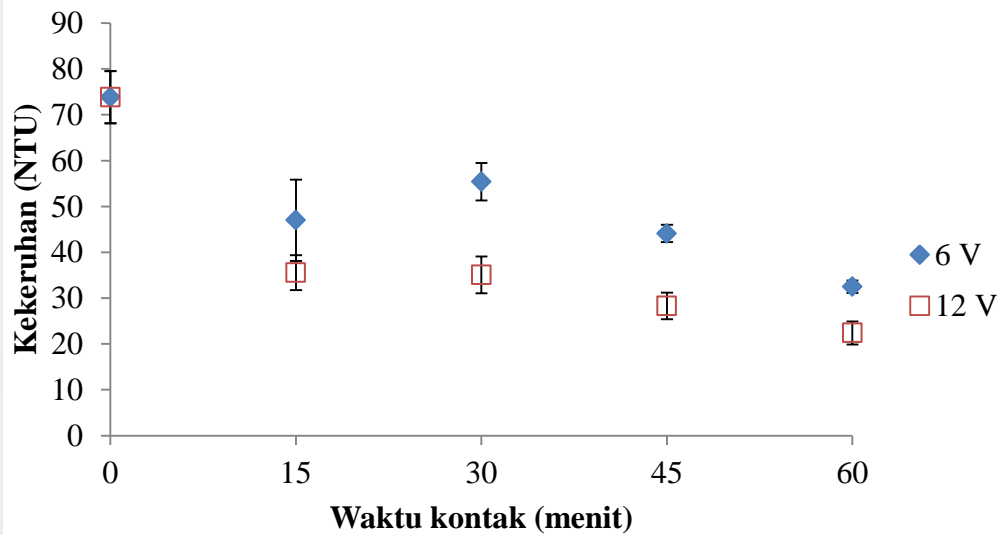
Perubahan pH pada kedua perlakuan maupun interaksi antar perlakuan menunjukkan perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ). Adanya perbedaan yang nyata pada perlakuan waktu kontak, menyebabkan diperlukannya uji lanjut Tukey untuk melihat perbedaan nilai pH pada setiap perlakuan (Lampiran 7). Hasil yang diperoleh dari uji Tukey yaitu adanya perbedaan nyata pada perlakuan waktu kontak 15, 30 dan 60 menit ( $p < 0,05$ ). Grafik perubahan nilai pH selama penelitian berlangsung dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Perubahan pH pada pengolahan air limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda

**Kekeruhan**

Kekeruhan merupakan keadaan zat cair yang tidak lagi memiliki nilai transparansi sebesar 100% akibat adanya partikel tidak larut di perairan (ISO 1999). Grafik perubahan nilai kekeruhan selama penelitian berlangsung disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8 Perubahan kekeruhan pada pengolahan air limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

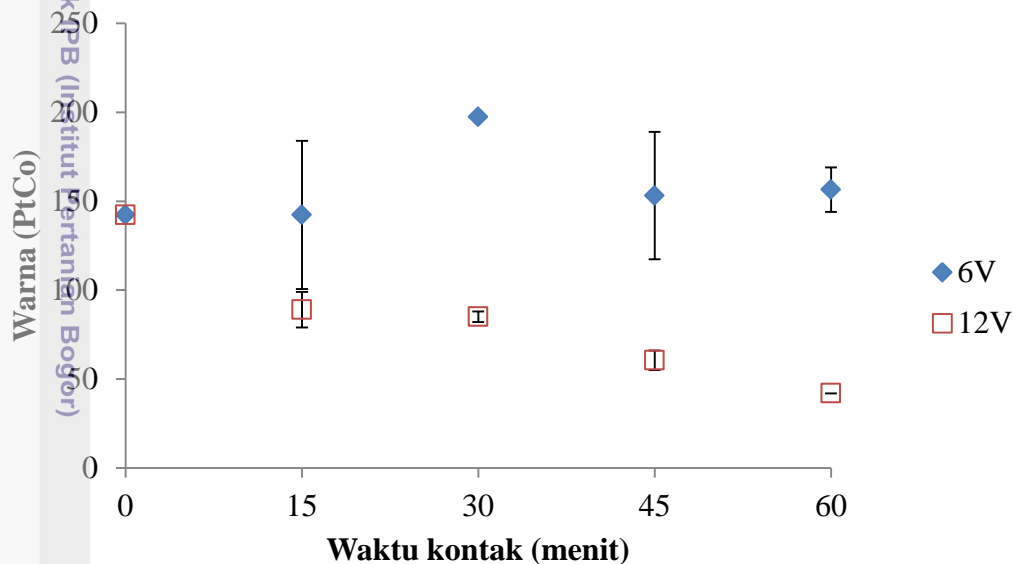
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Pada Gambar 8 terlihat kecenderungan penurunan kekeruhan pada kedua perlakuan. Penurunan nilai rata-rata kekeruhan terbesar terjadi pada besar tegangan 12V selama 60 menit, yaitu sebesar 69,65% dari kondisi awal air limbah.

Perubahan nilai kekeruhan pada perbedaan perlakuan tegangan, waktu kontak plat Al dengan air limbah dan interaksi kedua perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata ( $p < 0,05$ ), sehingga diperlukan dilakukan uji lanjut Tukey. Hasil yang didapat dari uji Tukey adalah adanya perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ) pada seluruh perlakuan waktu kontak plat dengan air limbah (Lampiran 8).

### Warna

Perubahan warna di perairan umumnya dipengaruhi oleh kadar bahan organik dan anorganik yang terkandung di perairan baik dalam wujud terlarut maupun tersuspensi (Effendi 2007). Grafik perubahan warna selama penelitian berlangsung dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Perubahan warna pada pengolahan air limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda

Pada Gambar 9 diketahui terdapat perubahan warna pada air limbah pemeliharaan ikan lele setelah diolah menggunakan metode elektrokoagulasi dengan lama waktu kontak yang berbeda. Besar warna pada kedua perlakuan berdasarkan perbedaan besar tegangan cenderung menurun. Penurunan rata-rata warna terbesar terjadi pada besar tegangan 12 V selama 60 menit, yaitu sebesar 70,49% dari kondisi awal air limbah.

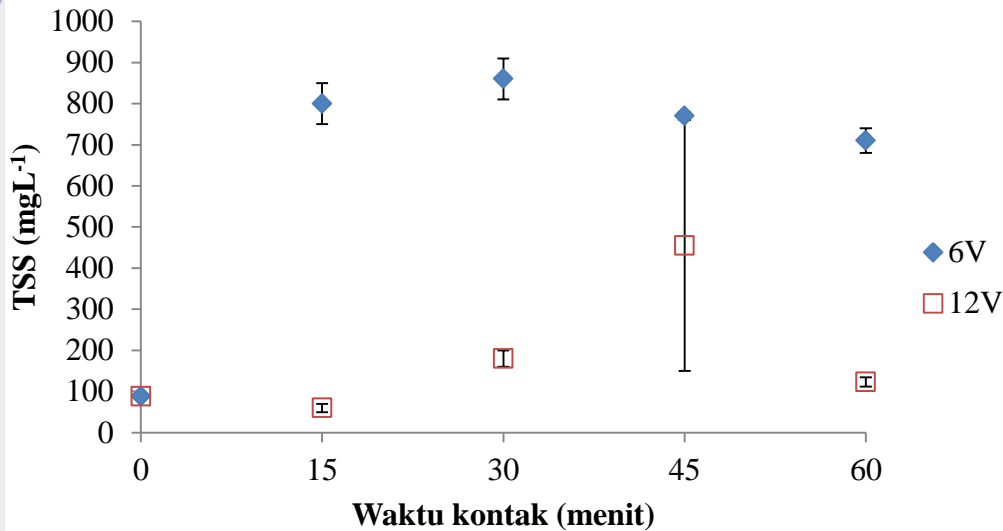
Hasil uji analisis statistik pada penelitian ini menunjukkan perbedaan yang tidak nyata ( $p > 0,05$ ) untuk interaksi kedua perlakuan pada parameter warna, sedangkan hasil uji analisis statistik untuk perlakuan waktu kontak dan tegangan menunjukkan perbedaan yang signifikan ( $p < 0,05$ ). Adanya perbedaan yang signifikan pada kedua perlakuan menyebabkan perlunya dilakukan uji lanjut



Tukey. Hasil yang didapat dari uji Tukey adalah adanya perbedaan yang signifikan pada waktu kontak 30 dan 60 menit ( $p < 0,05$ ) (Lampiran 9).

### TSS

Padatan tersuspensi (TSS) merupakan padatan yang tertahan di kertas saring, dengan ukuran partikel terbesar 2  $\mu\text{m}$  atau lebih besar dari ukuran koloid. (BSN 2004; Djuhariningrum 2005). Grafik perubahan nilai TSS selama penelitian berlangsung dapat dilihat pada Gambar 10.



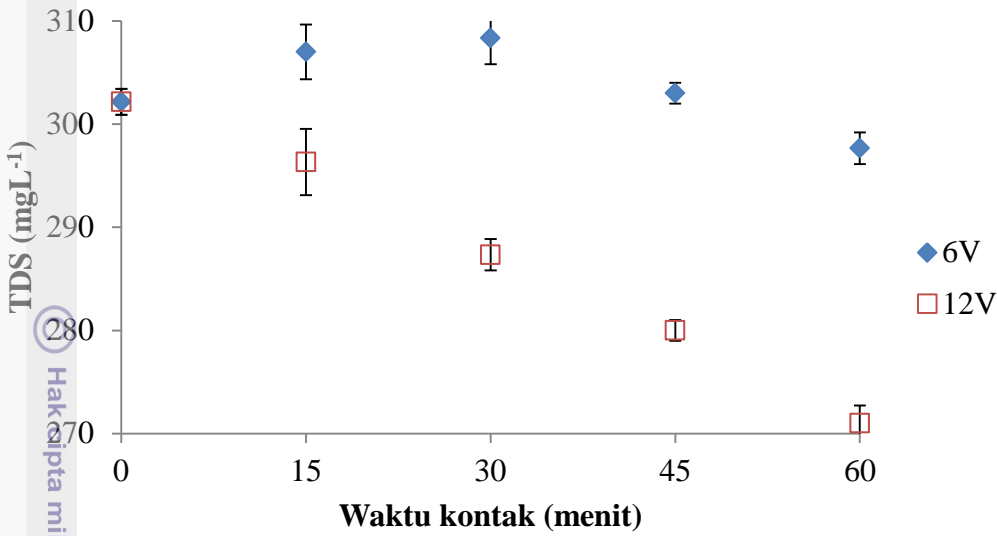
Gambar 10 Perubahan TSS pada pengolahan limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda

Perubahan nilai TSS cenderung meningkat pada besar tegangan 6 V, seperti yang terlihat di Gambar 10. Peningkatan rata-rata nilai TSS tertinggi terjadi pada besar tegangan 6 V selama 30 menit, yaitu sebesar 877,79%. Penurunan TSS tertinggi terjadi pada perlakuan besar tegangan 12 V selama 15 menit, yaitu sebesar 31,90%.

Hasil uji analisis statistik menunjukkan perlakuan perbedaan waktu kontak plat Al dengan air limbah serta interaksi dari perlakuan tegangan dan waktu kontak memberikan perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ), sehingga diperlukan adanya uji lanjut Tukey. Berdasarkan hasil uji lanjut Tukey didapatkan adanya pengaruh yang signifikan ( $p < 0,05$ ) pada waktu kontak 45 dan 60 menit (Lampiran 10).

### TDS

Padatan terlarut (TDS) merupakan padatan berupa ion-ion dalam air yang dapat melewati kertas saring. Air dengan kadar TDS  $>1000 \text{ mgL}^{-1}$  tidak dianjurkan digunakan sebagai sumber air pemeliharaan ikan (Republik Indonesia 2001; BSN 2004; Djuhariningrum 2005). Grafik perubahan nilai TDS selama penelitian berlangsung dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Perubahan TDS pada pengolahan limbah pemeliharaan ikan lele dengan besar tegangan dan waktu kontak yang berbeda

Berdasarkan Gambar 11 diketahui terdapat penurunan nilai TDS berdasarkan perbedaan besar tegangan dan waktu kontak. Penurunan nilai rata-rata TDS tertinggi terjadi pada besar tegangan 12 V selama 60 menit, yaitu sebesar 10,31% dari kondisi awal.

Hasil uji statistik menunjukkan adanya perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ) pada perlakuan waktu kontak, besar tegangan yang diberikan serta interaksi keduanya dalam menurunkan nilai TDS pada air limbah. Adanya perbedaan nyata pada setiap perlakuan yang diberikan menyebabkan perlunya dilakukan uji lanjut Tukey. Hasil yang didapat dari analisis uji lanjut Tukey adalah adanya perbedaan pengaruh yang nyata ( $p < 0,05$ ) pada setiap perlakuan waktu kontak plat dengan air limbah (Lampiran 11).

**Kebutuhan energi dan biaya**

Kebutuhan energi didasarkan pada besar daya yang digunakan serta lama waktu proses pengolahan air limbah berlangsung (Aulianur 2013). Besar kebutuhan energi berdasarkan perlakuan yang diberikan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Kebutuhan energi pengolahan limbah pemeliharaan ikan menggunakan metode elektrokoagulasi ( $KwhL^{-1}$ )

Tegangan (V)	Waktu kontak (menit)			
	15	30	45	60
6	$25 \times 10^{-4}$	$50 \times 10^{-4}$	$75 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-2}$
12	$50 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-2}$	$15 \times 10^{-2}$	$188 \times 10^{-4}$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.  
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Pada Tabel 4 diketahui besar energi yang dibutuhkan dalam mengolah air limbah pemeliharaan ikan menggunakan metode elektrokoagulasi ( $\text{KwhL}^{-1}$ ). Besar kebutuhan energi terendah didapatkan pada perlakuan besar tegangan 6 V selama 15 menit, yaitu  $25 \times 10^{-4} \text{ KwhL}^{-1}$  dan kebutuhan energi tertinggi didapatkan pada perlakuan tegangan 12 V selama 60 menit yaitu  $188 \times 10^{-4} \text{ KwhL}^{-1}$ .

Besar biaya operasional yang dibutuhkan berdasarkan perlakuan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Biaya operasional yang dibutuhkan dalam pengolahan limbah pemeliharaan ikan menggunakan metode elektrokoagulasi ( $\text{RpL}^{-1}$ )

Tegangan (V)	Waktu kontak (menit)			
	15	30	45	60
6	1,04	2,08	3,11	4,15
12	2,08	4,15	6,22	7,78

Berdasarkan tabel 5 diketahui besar biaya operasional yang dibutuhkan dalam pengolahan air limbah pemeliharaan ikan menggunakan metode elektrokoagulasi ( $\text{RpL}^{-1}$ ). Biaya operasional terendah didapatkan pada perlakuan besar tegangan 6 V selama 15 menit yaitu  $\text{Rp}1,04 \text{ L}^{-1}$  dan kebutuhan energi tertinggi terdapat pada perlakuan besar tegangan 12 V selama 60 menit yaitu  $\text{Rp}7,78 \text{ L}^{-1}$ .

### Pembahasan

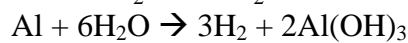
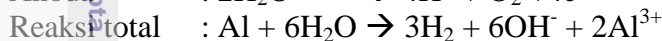
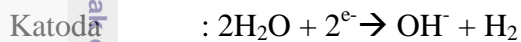
Limbah dari kegiatan pemeliharaan ikan umumnya dihasilkan dari penumpukan sisa pakan dan hasil ekskresi ikan yang dipelihara (Saleem *et al.* 2011). Air limbah dari kegiatan pemeliharaan ikan dapat dikurangi dengan mengolah air limbah secara terpusat di bak penampungan air limbah pada sistem resirkulasi semi tertutup maupun tertutup (Rahardja *et al.* 2010).

Pengolahan limbah hasil pemeliharaan ikan dapat dilakukan menggunakan tumbuhan air, koagulasi konvensional maupun elektrokoagulasi. *Eceng gondok* (*Eichornia crassipes*) memiliki kemampuan meningkatkan kualitas air dari air limbah kegiatan pemeliharaan ikan lele, yaitu sebesar 59,02% untuk penurunan COD dan 72,63% untuk penurunan kekeruhan selama 4 minggu (Akinbile dan Yusoff 2012); metode koagulasi konvensional mampu menurunkan kekeruhan hingga 42% selama 60 menit (Ozbay G 2005); sedangkan pada penelitian ini metode elektrokoagulasi mampu menurunkan parameter COD sebesar 82,89% dan parameter kekeruhan sebesar 69,65% selama 60 menit. Berdasarkan waktu yang dibutuhkan dan besar peningkatan kualitas air pada air limbah pemeliharaan ikan lele, maka metode elektrokoagulasi dapat berfungsi lebih baik dari tumbuhan air.

Pada proses elektrokoagulasi digunakan aluminium (Al) berupa batangan yang berfungsi sebagai koagulan. Penggunaan plat aluminium dalam mengolah air limbah menggunakan metode elektrokoagulasi dapat dilakukan hingga

aluminium habis. Pernyataan tersebut didasarkan pada besar efisiensi arus yang digunakan selama proses elektrokoagulasi berlangsung akan memengaruhi kecepatan proses reduksi aluminium yang digunakan (Vo *et al.* 2015). Pernyataan tersebut didukung oleh Hudori (2008) bahwa elektroda dengan berat rata-rata sebesar 75 g diperkirakan dapat digunakan hingga 431 jam pengoperasian metode elektrokoagulasi dalam mengolah air limbah.

Pada metode elektrokoagulasi, gas buih dan flok  $\text{Al(OH)}_n$  yang dihasilkan dari proses elektrokoagulasi mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam air limbah. Proses pembentukan flok dapat diketahui dari persamaan reaksi yang dijelaskan oleh Mollah *et al.* (2004) dan Iswanto *et al.* (2009) berikut,

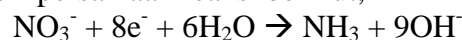


Berdasarkan persamaan reaksi tersebut diharapkan metode elektrokoagulasi dapat membantu menurunkan konsentrasi bahan organik pada air limbah kegiatan pemeliharaan ikan.

Penurunan konsentrasi parameter COD (Gambar 3) meningkat mengikuti peningkatan tegangan dan waktu kontak yang diberikan pada elektroda selama mengolah air limbah. Penurunan konsentrasi COD pada penelitian ini disebabkan oleh terbentuknya flok  $\text{Al(OH)}_3$  yang dapat mengikat bahan organik berupa koloid bermuatan negatif pada air limbah (Hendrianti *et al.* 2011). Flok tersebut kemudian akan mengendap ke dasar disebabkan oleh massa jenis flok yang terbentuk lebih besar dari massa jenis air.

Penurunan parameter COD terbesar didapat pada perlakuan besar tegangan 12 V dengan lama waktu kontak 60 menit, yaitu sebesar  $62,89 \text{ mgL}^{-1}$ , sedangkan nilai COD minimal yang boleh dikandung di perairan untuk kegiatan pemeliharaan ikan adalah  $50 \text{ mgL}^{-1}$  (Republik Indonesia 2001). Besar penurunan COD pada penelitian ini belum dapat memenuhi nilai minimal yang boleh dikandung suatu perairan untuk kegiatan pemeliharaan ikan. Belum terpenuhinya baku mutu kualitas air untuk perairan budidaya menunjukkan diperlukannya penambahan waktu kontak dalam menurunkan COD menggunakan metode elektrokoagulasi.

Konsentrasi amonia bebas ( $\text{NH}_3$ ) dan ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) pada air limbah setelah diolah menggunakan metode elektrokoagulasi, seperti yang terlihat pada Gambar 4 dan 5, menunjukkan peningkatan dari kondisi awal. Peningkatan konsentrasi amonia bebas diduga akibat terjadinya reduksi nitrat yang cepat pada air limbah setelah diolah menggunakan metode elektrokoagulasi (Koparal dan Ögütveren 2002; Emamjomeh dan Sivakumar 2005), sedangkan peningkatan ion amonium dapat disebabkan oleh berikatannya amonia bebas pada air limbah dengan ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) yang dihasilkan di katoda. Reaksi peningkatan amonia bebas ditunjukkan dalam persamaan reaksi berikut,



Nilai konsentrasi amonia bebas tertinggi yang didapat dari penelitian ini pada perlakuan tegangan 12 V selama 60 menit yaitu sebesar  $1,61 \text{ mgL}^{-1}$ , sedangkan konsentrasi amonia bebas terendah didapat pada tegangan 12 V selama 30 menit yaitu sebesar  $0,08 \text{ mgL}^{-1}$ . Perairan yang dapat digunakan untuk

kegiatan pemeliharaan ikan lele menurut Boyd dan Lichtkoppler (1979) adalah perairan dengan konsentrasi amonia bebas 0,60-2,00 mgL<sup>-1</sup>. Nilai konsentrasi amonia bebas yang didapat pada penelitian ini sudah memenuhi standar untuk kegiatan pemeliharaan ikan.

Penurunan konsentrasi ortofosfat (Gambar 6) diduga terjadi akibat berikatannya aluminium (Al<sup>3+</sup>) dengan ortofosfat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) sehingga terbentuk senyawa aluminium fosfat (AlPO<sub>4</sub>) pada pH lebih dari 6 (Bektaşet *al.* 2004). Peningkatan konsentrasi ortofosfat pada menit ke 30 dan 60 dengan besar tegangan 6 V serta pada menit ke 15 dan 60 dengan besar tegangan 12 V diduga terjadi karena adanya hambatan berupa terbentuknya lapisan yang menyelimuti elektroda. Kondisi tersebut menyebabkan arus listrik yang dialirkan terhambat dan menyebabkan ion H<sup>+</sup> pada elektroda tidak dapat berikatan dengan senyawa ortofosfat.

Meningkatnya nilai pH (Gambar 7) disebabkan oleh adanya pelepasan jumlah ion OH<sup>-</sup> yang lebih besar dari ion H<sup>+</sup> selama proses elektrokoagulasi berlangsung (Bundschuh *et al.* 2008). Nilai pH tertinggi didapat pada perlakuan dengan besar tegangan 6 V selama 60 menit, yaitu 8,13. Nilai tersebut sudah memenuhi baku mutu perairan kelas 3 (Republik Indonesia 2001) dan pH standar untuk kegiatan pemeliharaan ikan lele berkisar antara 6,50-9,00 (Boyd dan Lichtkoppler 1979).

Penurunan kekeruhan, warna, TSS dan TDS (Gambar 8, 9, 10, dan 11) disebabkan oleh adanya pengikatan partikel koloid bermuatan negatif selama proses elektrokoagulasi berlangsung oleh koagulan yang bermuatan positif hingga membentuk flok dan mengendap di dasar perairan (Trapsilasiwi dan Assomadi 2011). Pada penelitian inipeningkatan parameter kekeruhan dan TSS diduga disebabkan oleh proses pengendapan flok yang belum sempurna. Nilai parameter TSS dan TDS yang diperoleh pada penelitian ini lebih kecil dari nilai minimal pada baku mutu perairan, yaitu sebesar 400 mgL<sup>-1</sup> dan 1000 mgL<sup>-1</sup> (Republik Indonesia 2001). Parameter kekeruhan dan warna pada penelitian ini tidak melebihi baku mutu kualitas air bersih menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (1990), yaitu sebesar 25 mgL<sup>-1</sup> dan 50 mgL<sup>-1</sup>. Berdasarkan nilai parameter kekeruhan, warna, TSS dan TDS tersebut maka air limbah yang telah diolah pada penelitian ini dapat digolongkan dalam kelompok air bersih.

Pada penelitian ini pengolahan air limbah paling efektif dalam menurunkan bahan organik diperoleh pada perlakuan 12 V selama 60 menit, sedangkan perlakuan terbaik yang didasarkan pada peningkatan nilai parameter amonia bebas diperoleh pada perlakuan 12 V selama 30 menit (Lampiran 12). Besar kebutuhan energi yang dibutuhkan adalah 0,01 KwhL<sup>-1</sup> dengan biaya yang harus dikeluarkan sebesar Rp4,15 L<sup>-1</sup> (Lampiran 13) sehingga biaya yang harus dikeluarkan untuk kolam dengan ukuran 300x140 cm adalah sebesar Rp41047,65 (Lampiran 14). Penentuan besar tegangan dan lama waktu kontak yang efektif didasarkan pada perubahan terbaik dari seluruh parameter kualitas air yang diujikan.

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang memungut dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Metode elektrokoagulasi dapat digunakan untuk mengolah air limbah pemeliharaan ikan. Parameter kualitas air yang diukur pada penelitian ini yaitu COD, amonia, amonium, ortofosfat, pH, kekeruhan, warna, TSS dan TDS. Pada penelitian ini didapatkan penurunan kualitas air untuk parameter COD, ortofosfat, kekeruhan, warna, TSS dan TDS, sedangkan parameter ammonia, ammonium dan pH mengalami peningkatan. Besar tegangan listrik dan waktu kontak yang efektif untuk diaplikasikan pada lokasi sebenarnya dalam menurunkan bahan organik air limbah pemeliharaan ikan adalah 12 V selama 60 menit, sedangkan berdasarkan pertimbangan peningkatan parameter amonia bebas maka perlakuan terbaik yang dipilih adalah 12 V selama 30 menit dengan besar kebutuhan energi, yaitu  $0,01 \text{ kWh L}^{-1}$  dengan biaya sebesar  $\text{Rp}4,15 \text{ L}^{-1}$ .

### Saran

Pada penerapan skala teknis perlu dilakukan perawatan rutin terhadap kondisi fisik plat agar proses elektrokoagulasi dapat berlangsung secara efektif.

## DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2004. *Air dan Limbah-Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TJK) secara Gravimetri (ID): SNI 06-6989.3-2004*.
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2013. *Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Ammonia-Freshwater (US): EPA-822-R-13-001*.
- [ISO] International Standard 7027. 1999. *Water Quality-Determination of Turbidity Third Edition.(E)*.
- Adhoni N, Monser L, Bellakhal N, Belgaied JE. 2004. Treatment of electroplating wastewater containing  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  and  $\text{Cr(VI)}$  by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*. B112: 207-213. doi: 10.1016/j.jhazmat.2004.04.018.
- Akinbile CO dan Yusoff MS. 2012. Assessing warer hyacinth (*Eichornia crassipes*) and lettuce (*Pistia stratiotes*) effectiveness in aquaculture wastewater treatment. *International Journal of Phytoremediation*. (14): 201-211. doi: 10.1080./15226514.2011.587482.

- Arifin M. 2000. Pengolahan Limbah Hotel Berbintang [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Aulianur RW. 2013. Perbandingan metode elektrokoagulasi dengan presipitasi hidroksida untuk pengolahan limbah cair industri penyamakan kulit [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Bektaş N, Akbulut H, Inan H, Dimoglo A. 2004. Removal of phosphate solutions by electro-coagulation. *Journal of Hazardous Materials*. 106B: 101-105. doi: 10.1016/j.jhazmat.2003.10.002.
- Boyd CE. 1988. *Water Quality in Warmwater Fish Ponds*. Auburn (US): Auburn University, Agricultural Experiment Station.
- Boyd CE, Lichtkoppler F. 1979. *Water Quality Management In Pond Fish Culture Research and Development Series No 22*. Auburn (US): Auburn University, Agricultural Experiment Station.
- Bundschuh J, Armienta MA, Birkle P, Battacharya P, Matschullat J, Mukherjee AB. *Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America 1*. Leiden (NL): CRC Press.
- Djuhariningrum T. 2005. Penentuan total zat padat terlarut dalam memprediksi kualitas air tanah dari berbagai contoh air. *Kumpulan Laporan Hasil Penelitian Pusat Pengembangan Geologi Nuklir-BATAN*: 118-131. ISBN.978-979-99141-2-5.
- Effendi H. 2007. *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta (ID): Kanisius.
- Hamamjomeh MM dan Sivakumar M. 2005. Electrocoagulation (EC) technology for nitrate removal. N Khanna, editor. *Environmental Postgrad Conference; Environmental change: Making it Happen; 2005*; Melbourne, Victoria. Melbourne (AU-VIC): RMIT School Civil and Chemical Engineering: 1-8.
- Emerson K, Russo RC, Lund RE, Thurston RV. 1975. Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. *J. Fish. Res Board Can.* 32:2379-2383.
- Franus W, Widown M. 2010. Removal of amonium ions by selected natural and synthetic zeolites. *Zeszyt 4*. Tom 26: 133-148
- Hendriarianti E, Sandy AP. 2011. Pengaruh jenis elektroda dan jarak antar elektroda dalam penurunan COD dan TSS limbah cair *Luandry* menggunakan elektrokoagulasi konfigurasi monopolar aliran kontinyu. *Lingkungan Tropis*. 4(2): 73-80.
- Holt PK, Barton GW, Mitchell CA. 2005. The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*. 59: 355-367. doi:10.1016/j.chemosphere.2004.10.023.
- Hudori. 2008. Pengolahan air limbah *laundry* dengan menggunakan elektrokoagulasi [tesis]. Bandung (ID): Institut Teknologi Bandung.
- Iswanto B, Silalahi MDS, Purnama FD. 2009. Pengolahan air limbah emulsi minyak-deterjen dengan proses elektrokoagulasi menggunakan elektroda aluminium. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 5(2): 55-61. ISSN:1829-6572.
- Johnson W, Chen S. 2006. Performance evaluation of radial/vertical flow clarification applied to recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*. 34: 47-55.
- Komarawidjaja W, Kurniawan DA. 2008. Tingkat filtrasi rumput laut (*Gracilaria p.*) terhadap kandungan ortofosfat ( $P_2O_5$ ). *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 9(2): 180-183.

- Koparal AS dan ÖgütverenÜB. 2002. Removal of nitrite from water by electroreduction and electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*. B89: 83-94.
- Kordi K MGH. 2008. *Budi Daya Perairan*. Bandung (ID): PT Citra Aditya Bakti.
- Mollah MYA, Morkovsky P, Gomes JAG, Kesmez M, Parga J, Cocke DL. 2004. Fundamental, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*. 114: 199-210.
- Ozbay G. 2005. Effects of coagulant treatment on aquaculture effluent quality. *Journal of Applied Aquaculture*. 17(4): 1-23. doi: 10.1300/J028v17n04\_01.
- Rahardja BS, Prayogo, Mahasri G, Hardhianto MD. 2010. Efektifitas bakteri (*Pseudomonas*) sebagai pengurai bahan organik (protein, karbohidrat, lemak) pada media air limbah pembenihan ikan lele dumbo (*Clarias sp.*) sistem resirkulasi tertutup. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 2(2): 159-164.
- Republik Indonesia. 1990. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 416 Tahun 1990 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air*. Jakarta (ID): Sekretariat Negara.
- Republik Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4161. Jakarta (ID): Sekretariat Negara.
- Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2014 tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh Perusahaan Perseroan (PERSERO) PT Perusahaan Listrik Negara*. Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 417. Jakarta (ID): Sekretariat Negara.
- Rice EW, Baird RB, Eaton AD, Clesceri LS. 2012. *APHA (American Public Health Association): standard method for the examination of water and wastewater 22th ed*. Washington DC (US): AWWA (American Water Works Association) and WEF (Water Environment Federation).
- Saleem M, Chakrabarti MH, Hasan DB. 2011. Electrochemical removal of nitrite in simulated aquaculture waste water. *African Journal of Biotechnology*. 10(73): 16566-16576. doi:10.5897/AJB11.102.
- Soewardita H, Suidiana N. 2010. Studi dinamika kualitas air DAS Ciliwung. *JAI*.6(1): 24-33.
- Trapsilasiwi KR, Assomadi AF. 2011. Aplikasi elektrokoagulasi menggunakan pasangan elektroda aluminium untuk pengolahan air dengan sistem kontinyu. Surabaya (ID): Institut Teknologi Sepuluh November. (Unpublished).
- Walpole RE. 1993. *Pengantar Statistika*. Jakarta (ID): Gramedia Pustaka Utama.
- Yulianto A, Hakim L, Purwaningsih I, Pravitasari VA. 2009. Pengolahan limbah cair industri batik pada skala laboratorium dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 5(1): 6-11.
- Yusnandar ME. 2002. Aplikasi rancangan. *Informatika Pertanian*.11: 602-618.
- Vo KA, Xu XJ, Li TG, Peng RH, Liu SL, Yue XL. 2015. Research on a new electrochemical method combined with chemical coagulation in removal of lead, zinc and copper from wastewater. *Desalination and Water Treatment*: 1-10. doi: 10.1080/19443994.2015.1070757.



## LAMPIRAN

Lampiran 1 Foto-foto kondisi awal dan akhir perlakuan, rangkaian reaktor elektrokoagulasi beserta plat yang digunakan



Kondisi awal air limbah



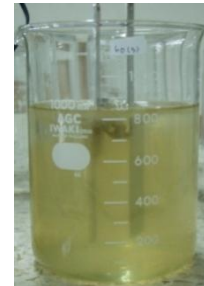
Perlakuan 6V selama 15 menit



Perlakuan 6V selama 30 menit



Perlakuan 6V selama 45 menit



Perlakuan 6V selama 60 menit



Perlakuan 12V selama 15 menit



Perlakuan 12V selama 30 menit



Perlakuan 12V selama 45 menit



Perlakuan 12V selama 60 menit



Rangkaian reaktor elektrokoagulasi



Plat aluminium yang digunakan (7x2x0,2 cm)



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengurnikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran2 Hasil analisis parameter kualitas air pada air limbah pemeliharaan ikan lele

Rata-rata persentase perubahan parameter kualitas air pada limbah pemeliharaan ikan yang telah diolah menggunakan metode elektrokoagulasi

Perlakuan	Parameter Kualitas Air (%)								
	pH	Kekeruhan	Warna	TSS	TDS	Amonia bebas	Amonium	COD	Ortofosfat
6V 15 menit	-10± 0,02*	53± 8,63	-64± 44,50*	-278± 49,49 *	-2± 0,67*	-769 ± 242*	-27± 12,64*	69± 3,51	53 ± 12,40
6V 30 menit	-15± 0,02*	48± 6,89	-88± 1,26*	-307± 61,86*	-2 ± 1,11*	-1636 ± 679*	-13 ± 8,81*	49 ± 5,04	27 ± 4,32
6V 45 menit	-12 ± 0,01 *	60± 5,36	-72± 18,16*	-263 ± 37,22*	-0,1± 0,75*	-1656 ± 328	-79 ± 2,81*	69± 3,51	38 ± 4,67
6V 60 menit	-16 ± 0,02*	70 ± 4,99	-49± 32,60*	-234 ± 26,10*	2± 0,91	-2154 ± 597*	-59 ± 5,68*	79± 6,24	35 ± 4,98
12V 15 menit	-8 ± 0,03*	68± 2,42	15 ± 9,14	-72 ± 2,07*	2± 0,75	-680± 297*	-12± 4,77 *	67 ± 14,15	6 ± 4,01
12V 30 menit	-6 ± 0,03*	70 ± 7,39	23 ± 13,31	15 ± 9,10	5± 0,11	-291 ± 173*	-9± 13,49*	81± 3,39	22± 5,77
12V 45 menit	-12 ± 0,03*	73± 6,16	42 ± 7,87	-119 ± 163*	7 ± 0,72	-953 ± 208*	-13± 8,59*	68± 4,99	68± 3,26
12V 60 menit	-15 ± 0,01*	81± 0,61	60 ± 6,37	42 ± 2,74	10 ± 0,27	-7874±2103*	-423 ± 19,60*	88 ± 3,64	76± 12,10

Keterangan:

\* : Terjadi peningkatan konsentrasi pada parameter kualitas air yang diujikan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak mengizinkan kepentingan yang wajar IPB.  
 2. Dilarang mengurnikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



#### Hak Cipta Diliindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 3 Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter COD

a. Analisis ragam parameter COD

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hitung	Nilai P	Kesimpulan
Tegangan	1	26600,04	26600,04	169,86	6,16E-10	Tolak H0
Waktu	3	31261,46	10420,49	66,54	2,96E-09	Tolak H0
Interaksi	3	24451,27	8150,42	52,05	1,78E-08	Tolak H0
Galat	16	2505,56	156,60			
Total	23	84818,33				

Uji lanjut Tukey parameter COD

Waktu	(J) waktu	Perbedaan rata-rata perlakuan (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Selang kepercayaan	
					Batas bawah	Batas atas
15	30	-39,00*	7,20	0	-59,59	-18,41
	45	-17,67	7,20	0,11	-38,26	2,92
	60	58,17*	7,20	0	37,57	78,76
45	15	39,00*	7,20	0	18,41	59,59
	45	21,33*	7,20	0,04	0,74	41,92
	60	97,17*	7,20	0	76,57	117,76
60	15	17,67	7,20	0,11	-2,92	38,26
	30	-21,33*	7,20	0,04	-41,92	-0,74
	60	75,83*	7,20	0	55,24	96,42
15	30	-58,17*	7,20	0	-78,76	-37,57
	45	-97,17*	7,20	0	-117,76	-76,57
	60	-75,83*	7,20	0	-96,42	-55,24

\*. Pada  $\alpha = 0,05$  level.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 4 Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter amonia bebas

a. Analisis ragam parameter amonia bebas

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hitung	Nilai P	Kesimpulan
Tegangan	1	0,200	0,2	248,86	3,58E-11	Tolak H0
Waktu	3	3,02	1,01	1281,80	2,9E-19	Tolak H0
Interaksi	3	1,95	0,65	826,72	9,49E-18	Tolak H0
Galat	16	0,01	0,001			
Total	23	5,18				

b. Uji lanjut Tukey parameter amonia bebas

(I) waktu	(J) waktu	Perbedaan rata-rata perlakuan (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Selang kepercayaan	
					Batas bawah	Batas atas
15	30	-0,05	0,02	0,06	-0,09	0,001
	45	-0,12*	0,02	0	-0,17	-0,08
	60	-0,87*	0,02	0	-0,92	-0,82
30	15	0,05	0,02	0,06	-0,001	0,09
	45	-0,08*	0,02	0,001	-0,13	-0,03
	60	-0,82*	0,02	0	-0,87	-0,78
45	15	0,12*	0,02	0	0,08	0,17
	30	0,08*	0,02	,001	0,03	0,13
	60	-0,75*	0,02	0	-0,79	-0,70
60	15	0,87*	0,02	0	0,82	0,92
	30	0,82*	0,02	0	0,78	0,87
	45	0,75*	0,02	00	0,70	0,79

\*. Pada  $\alpha = 0,05$  level.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.  
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 5 Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter amonium

a. Analisis ragam parameter amonium

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hitung	Nilai P	Kesimpulan
Tegangan	1	66,95	66,95	797,89	4,42E-15	Tolak H0
Waktu	3	493,54	164,51	1960,75	9,78E-21	Tolak H0
Interaksi	3	408,13	136,04	1621,42	4,45E-20	Tolak H0
Galat	16	1,34	0,08			
Total	23	969,96				

Uji lanjut Tukey parameter amonium

Waktu	(J) waktu	Perbedaan rata-rata perlakuan (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Selang kepercayaan	
					Batas bawah	Batas atas
	30	-0,05	0,02	0,06	-0,09	0,001
	45	-0,12*	0,02	0	-0,17	-0,08
	60	-0,87*	0,02	0	-0,92	-0,82
	15	0,05	0,02	0,06	-0,001	0,09
	45	-0,08*	0,02	0,001	-0,163	-0,03
	60	-0,82*	0,02	0	-0,87	-0,78
	15	0,12*	0,02	0	0,08	0,17
	30	0,08*	0,02	0,001	0,03	0,13
	60	-0,75*	0,02	0	-0,79	-0,70
	15	0,87*	0,02	0	0,82	0,92
	30	0,82*	0,02	0	0,78	0,87
	45	0,75*	0,02	0	0,70	0,79

\*. Pada  $\alpha= 0,05$  level.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

Lampiran 6 Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter ortofosfat

a. Analisis ragam parameter ortofosfat

Sumber Keragaman	db	JK	KT	F hitung	Nilai P	Kesimpulan
Tegangan	1	0,02	0,02	1,32	0,27	Gagal tolak H0
Waktu	3	1,33	0,44	24,48	3,21E-06	Tolak H0
Interaksi	3	2,06	0,69	38,02	1,65E-07	Tolak H0
Galat	16	0,29	0,02			
Total	23	3,70				

b. Uji lanjut Tukey parameter ortofosfat

(I) waktu	(J) waktu	Perbedaan rata-rata perlakuan (I-J)			95% Selang kepercayaan	
		Perbedaan rata-rata	Std. Error	Sig.	Batas bawah	Batas atas
15	30	-0,10	0,08	0,62	-0,32	0,137
	45	0,34*	0,08	0,001	0,17	0,62
	60	0,44*	0,08	0	0,22	0,66
30	15	0,10	0,08	0,62	-0,13	0,32
	45	0,49*	0,08	0	0,27	0,71
	60	0,53*	0,08	0	0,31	0,75
45	15	-0,40*	0,08	0,001	-0,62	-0,17
	30	-0,49*	0,08	0	-0,71	-0,27
	60	0,04	0,08	0,95	-0,18	0,26
60	15	-0,44*	0,08	0	-0,66	-0,21
	30	-0,53*	0,08	0	-0,75	-0,31
	45	-0,04	0,08	,951	-0,26	0,18

\*. Pada  $\alpha = 0,05$  level.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang memunculkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Lampiran 7 Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter pH

a. Analisis ragam parameter pH

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hitung	Nilai P	Kesimpulan
Tegangan	1	0,26	0,26	14,56	0,001	Tolak H0
Waktu	3	0,78	0,26	14,47	8,05E-05	Tolak H0
Interaksi	3	0,28	0,09	5,21	0,01	Tolak H0
Galat	16	0,29	0,02			
Total	23	1,62				

Uji lanjut Tukey parameter pH

Waktu	(J) waktu	Perbedaan rata-rata perlakuan (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Selang kepercayaan	
					Batas bawah	Batas atas
30	15	-0,11	0,08	0,49	-0,33	0,11
	45	-0,26*	0,08	0,02	-0,48	-0,03
	60	-,048*	0,08	0	-0,70	-0,26
45	15	0,11	0,08	0,49	-,011	0,33
	60	-0,14	0,08	0,29	-0,36	0,08
	30	-0,37*	0,08	0,001	-0,59	-0,15
60	15	0,26*	0,08	0,02	0,03	0,48
	30	0,14	0,08	0,29	-0,08	0,36
	45	-0,23*	0,08	0,04	-0,45	-0,01
30	45	0,48*	0,08	0	0,26	0,70
	60	0,37*	0,08	0,001	0,15	0,59
	45	0,23*	0,08	0,04	0,01	0,45

\*. Pada  $\alpha=0,05$  level.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

## Lampiran 8 Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter kekeruhan

### a. Analisis ragam parameter kekeruhan

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hitung	Nilai P	Kesimpulan
Tegangan	1	1247,76	1247,76	405,52	8,61E-13	Tolak H <sub>0</sub>
Waktu	3	1060,05	353,35	114,84	4,93E-11	Tolak H <sub>0</sub>
Interaksi	3	96,98	32,33	10,50	0,0005	Tolak H <sub>0</sub>
Galat	16	49,23	3,08			
Total	23	2454,02				

### b. Uji lanjut Tukey parameter kekeruhan

(I) waktu	(J) waktu	Perbedaan rata-rata perlakuan (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Selang kepercayaan	
					Batas bawah	Batas atas
15	30	-3,95*	1,01	0,006	-6,85	-1,05
	45	5,08*	1,01	0,001	2,19	7,98
	60	13,83*	1,01	0	10,94	16,73
30	15	3,95*	1,01	0,006	1,05	6,85
	45	9,03*	1,01	0	6,14	11,93
	60	17,78*	1,01	0	14,89	20,68
45	15	-5,08*	1,01	0,001	-7,98	-2,19
	30	-9,03*	1,01	0	-11,93	-6,14
	60	8,75*	1,01	0	5,85	11,65
60	15	-13,83*	1,01	0	-16,73	-10,94
	30	-17,78*	1,01	0	-20,68	-14,89
	45	-8,75*	1,01	0	-11,64	-5,85

\*. Pada  $\alpha = 0,05$  level.

## Lampiran 9 Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter warna

## a. Analisis ragam parameter warna

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hitung	Nilai P	Kesimpulan
Tegangan	1	52126,76	52126,76	125,77	5,45E-09	Tolak H0
Waktu	3	5986,62	1995,54	4,82	0,01	Tolak H0
Interaksi	3	3614,12	1204,70	2,91	0,07	Gagal tolak H0
Galat	16	6631,28	414,46			
Total	23	68358,77				

## Uji lanjut Tukey parameter warna

Waktu	(J) waktu	Perbedaan rata-rata perlakuan (I-J)		Sig.	95% Selang kepercayaan	
		Std. Error			Batas bawah	Batas atas
	30	-25,33	11,75	0,18	-58,95	8,29
	45	8,83	11,75	0,88	-24,79	42,45
	60	16,33	11,75	0,52	-17,29	49,95
	15	25,33	11,75	0,18	-8,29	58,95
	45	34,17*	11,75	0,05	0,55	67,78
	60	41,67*	11,75	0,01	8,05	75,29
	15	-8,83	11,75	0,88	-42,45	24,79
	30	-34,17*	11,75	0,05	-67,79	-0,55
	60	7,50	11,75	0,92	-26,12	41,12
	15	-16,33	11,75	0,52	-49,95	17,29
	30	-41,67*	11,75	0,01	-75,29	-8,05
	45	-7,50	11,75	0,92	-41,12	26,12

\* Pada  $\alpha = 0,05$  level.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPI.  
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPI.

Lampiran 10 Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter TSS

a. Analisis ragam parameter TSS

Sumber keragaman	db	JK	KT	Fhitung	Nilai P	Kesimpulan
Tegangan	1	2021301	2021301	162,26	8,62E-10	TolakH0
Waktu	3	148753,1	49584,37	3,98	0,03	TolakH0
Interaksi	3	158803,1	52934,37	4,25	0,028	TolakH0
Galat	16	199316,7	12457,29			
Total	23	2528174				

b. Uji lanjut Tukey parameter TSS

(I) waktu	(J) waktu	Perbedaan rata-rata perlakuan (I-J)		Sig.	95% Selang kepercayaan	
			Std. Error		Batas bawah	Batas atas
15	30	-90,00	64,44	0,52	-274,36	94,36
	45	-182,50	64,44	0,05	-366,86	1,86
	60	13,33	64,44	1,00	-171,033	197,70
30	15	90,00	64,44	0,52	-94,36	274,36
	45	-92,50	64,44	0,49	-276,86	91,86
	60	103,33	64,44	0,40	-81,03	287,70
45	15	182,50	64,44	0,05	-1,86	366,86
	30	92,50	64,44	0,50	-91,86	276,86
	60	195,83*	64,44	0,04	11,47	380,20
60	15	-13,33	64,44	1,00	-197,70	171,03
	30	-103,33	64,44	0,40	-287,70	81,03
	45	-195,83*	64,44	0,04	-380,20	-11,47

\*. Pada  $\alpha = 0,05$  level.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.  
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 11 Hasil analisis ragam dan uji lanjut Tukey untuk parameter TDS

a. Analisis ragam parameter TDS

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hitung	Nilai P	Kesimpulan
Tegangan	1	2593,76	2593,76	892,48	1,83E-15	Tolak H0
Waktu	3	955,95	318,65	109,64	7,01E-11	Tolak H0
Interaksi	3	162,28	54,09	18,61	1,81E-05	Tolak H0
Galat	16	46,50	2,91			
Total	23	3758,49				

Uji lanjut Tukey parameter TDS

Waktu	(J) waktu	Perbedaan rata-rata perlakuan (I-J)		Sig.	95% Selang kepercayaan	
		Perbedaan rata-rata	Std. Error		Batas bawah	Batas atas
30	45	2,92*	0,98	0,04	0,10	5,73
	60	16,42*	0,98	0	13,60	19,23
	15	-2,92*	0,98	0,04	-5,73	-0,10
45	60	6,33*	0,98	0	3,52	9,15
	15	-9,25*	0,98	0	-12,07	-6,43
	30	-6,33*	0,98	0	-9,15	-3,52
60	15	7,17*	0,98	0	4,35	9,98
	30	-16,42*	0,98	0	-19,23	-13,60
	45	-13,50*	0,98	0	-16,32	-10,68
15	30	-7,17*	0,98	0	-9,98	-4,35
	45					

\*. Pada  $\alpha = 0,05$  level.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

Lampiran 12 Skor dari hasil analisis parameter kualitas air limbah pemeliharaan lele yang telah diolah menggunakan metode elektrokoagulasi

Parameter	Perlakuan (Volt/menit)							
	6/15	6/30	6/45	6/60	12/15	12/30	12/45	12/60
pH	0	0	0	0	0	0	0	0
Kekeruhan	3	3	3	4	4	4	4	5
Warna	0	0	0	0	1	2	3	3
TSS	0	0	0	0	0	1	0	3
TDS	0	0	0	1	1	1	1	1
Amonia bebas	0	0	0	0	0	0	0	0
Amonium	0	0	0	0	0	0	0	0
COD	4	3	4	4	4	5	4	5
Ortofosfat	3	2	2	2	1	2	4	4
Total	10	8	9	11	11	15	16	21

Keterangan:

Persentase tiap parameter	Skor
<0%	0
0-20%	1
21-40%	2
41-60%	3
61-80%	4
81-100%	5

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 13 Contoh Penghitungan Kebutuhan Energi dan Biaya

- a. Penghitungan Kebutuhan Energi ( $\text{KwhL}^{-1}$ ) dan Biaya ( $\text{RpL}^{-1}$ ) untuk perlakuan besar tegangan 6 V selama 15 menit

$$W = P \times t$$

$W = \text{tegangan/volume} \times \text{kuat arus} \times \text{waktu}$   
 $W = 6\text{V}/0,8\text{L} \times 1\text{A} \times 15\text{menit} \times (1\text{jam}/60 \text{ menit}) \times (1 \text{ Kwh}/1000 \text{ Wh})$   
 $W = 0,002 \text{ Kwh} \times 0,8\text{L}^{-1}$   
 $W = 0,0025 \text{ Kwh L}^{-1}$   
 Biaya yang harus dikeluarkan per Kwh  
 Tarif Listrik =  $\text{Rp}415,00 \text{ Kwh}^{-1}$  (Republik Indonesia 2014)  
 Biaya pemakaian listrik = tarif listrik x W  
 Biaya pemakaian listrik =  $\text{Rp}415,00 \text{ Kwh}^{-1} \times 0,0025 \text{ KwhL}^{-1}$   
 Biaya pemakaian listrik =  $\text{Rp}1,04\text{L}^{-1}$

- Penghitungan Kebutuhan Energi ( $\text{KwhL}^{-1}$ ) dan Biaya ( $\text{RpL}^{-1}$ ) untuk perlakuan besar tegangan 12 V selama 15 menit

$$W = P \times t$$

$W = \text{tegangan/volume} \times \text{kuat arus} \times \text{waktu}$   
 $W = 12\text{V}/0,8\text{L} \times 1\text{A} \times 15\text{menit} \times (1\text{jam}/60 \text{ menit}) \times (1\text{Kwh}/1000 \text{ Wh})$   
 $W = 0,004 \text{ Kwh} \times 0,8\text{L}^{-1}$   
 $W = 0,005 \text{ KwhL}^{-1}$   
 Biaya yang harus dikeluarkan per Kwh  
 Tarif Listrik =  $\text{Rp}415,00\text{Kwh}^{-1}$  (Republik Indonesia 2014)  
 Biaya pemakaian listrik = tarif listrik x W  
 Biaya pemakaian listrik =  $\text{Rp}415,00 \text{ Kwh}^{-1} \times 0,005 \text{ KwhL}^{-1}$   
 Biaya pemakaian listrik =  $\text{Rp}2,08 \text{ L}^{-1}$

Lampiran 14 Penghitungan estimasi biaya di kolam

$V = 1/4\pi d^2 t$   
 $t = 300 \text{ cm}$   
 $r = 140 \text{ cm}$   
 Estimasi biaya yang harus dikeluarkan: V tabung x biaya per liter  
 $= 9.891.000 \text{ cm}^3 \times \text{Rp}4.15,-/\text{L}$   
 Biaya yang harus dikeluarkan =  $\text{Rp}41.047,65$  per kolam

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Fitri Afina Radityani, lahir di Salatiga 10 Agustus 1993, merupakan anak pertama dari ibu Niken Tunjung Murti Pratiwi dan bapak Ibnu Maryanto. Penulis tinggal di Kampung Nyalindung No. 10. Desa Sukamantri, Kecamatan Tamansari, Kabupaten Bogor, Jawa Barat.

Penulis berhasil melanjutkan pendidikan di Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor pada tahun 2011 melalui jalur ujian Talenta Masuk IPB (UTM-IPB). Penulis merupakan murid di TK Insan Fakhwa pada tahun 1997-1999, SD Negeri Polisi 1 Bogor pada tahun 1999-2005, SMP Negeri 3 Bogor pada tahun 2005-2008, dan SMA Negeri 6 Bogor pada tahun 2008-2011 sebelum melanjutkan pendidikan di Institut Pertanian Bogor.

Kegiatan di luar akademik yang dilakukan oleh penulis antara lain sebagai anggota divisi media Ikatan Alumni SMAN 6 Bogor pada tahun 2011-sekarang, anggota Purna PASUS Bimakarsa SMAN 6 Bogor pada tahun 2011- sekarang, anggota UKM AIESEC IPB pada tahun 2012-2015, bendahara Komisi III DPM-C pada tahun 2012-2013, sekretaris Komisi III DPM-C pada tahun 2013-2014. Penulis juga merupakan asisten dosen mata kuliah Pendidikan Agama Islam pada tahun 2013, Ilmu Tumbuhan Air dan Makroalga pada tahun 2014, dan Teknologi Pengolahan Air Limbah pada tahun 2015.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.