

# **OPTIMASI PENGHILANGAN NITROGEN AIR BUANGAN TAMBAK UDANG MENGGUNAKAN AERASI *NANOBUBBLE* DAN KOMPOSIT MULTI-KARBON BERBASIS BESI**

**YULIANTI ANJARSARI**



**PROGRAM MAGISTER ILMU AKUAKULTUR  
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**



## @Hak cipta milik IPB University

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



## PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Optimasi Penghilangan Nitrogen Air Buangan Tambak Udang Menggunakan Aerasi *Nanobubble* dan Komposit Multi-Karbon Berbasis Besi” adalah karya saya dengan arahan dosen 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, Juli 2026

Yulianti Anjarsari  
C1501241030



## RINGKASAN

YULIANTI ANJARSARI. “Optimasi Penghilangan Nitrogen Air Buangan Tambak Udang Menggunakan Aerasi *Nanobubble* dan Komposit Multi-Karbon Berbasis Besi”. Dibimbing oleh KUKUH NIRMALA, EDDY SUPRIYONO, dan ABU SAAD AA ANSARI.

Peningkatan intensifikasi budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) menghasilkan air buangan dengan kandungan nitrogen yang tinggi, terutama total ammonia nitrogen (TAN), nitrit, nitrat, dan total nitrogen (TN), yang berpotensi menyebabkan eutrofikasi apabila dibuang tanpa pengolahan yang memadai. Pengolahan nitrogen secara biologis memerlukan ketersediaan oksigen terlarut yang memadai untuk mendukung proses nitrifikasi, sedangkan proses denitrifikasi dapat dibatasi oleh ketersediaan sumber karbon dan donor elektron. Kombinasi aerasi *nanobubble* dan *iron-based multi-carbon source composites* (IMCSC) diharapkan dapat meningkatkan proses penghilangan nitrogen melalui peningkatan transfer oksigen serta penyediaan sumber karbon dan donor elektron.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas kombinasi aerasi *nanobubble* dan IMCSC dalam meningkatkan penghilangan nitrogen dari air buangan tambak udang serta memperbaiki kualitas air. Penelitian menggunakan air buangan tambak udang vaname dari tambak KD Sutoyo, Pemalang, Jawa Tengah, yang berasal dari sistem budidaya dengan padat tebar 130 ekor/m<sup>2</sup> dan DOC 57 hari. Air buangan terlebih dahulu disaring, kemudian sebanyak 40 L dimasukkan ke dalam wadah berkapasitas 50 L. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan lima perlakuan, yaitu kontrol (C), aerator konvensional (A), *nanobubble* (NB), IMCSC+aerator (IMCSC+A), dan IMCSC+*nanobubble* (IMCSC+NB), dengan tiga ulangan pada setiap perlakuan. IMCSC disusun menggunakan *polyvinyl alcohol* (PVA), natrium alginat, *polycaprolactone* (PCL), karbon aktif, dan besi valensi nol berukuran mikro sebagai komponen utama. Proses pembuatan dilakukan melalui homogenisasi bahan, pembekuan, dan pematangan (*curing*) menggunakan H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> jenuh dan CaCl<sub>2</sub> 4%. IMCSC ditambahkan pada awal perlakuan IMCSC+A dan IMCSC+NB dengan dosis 100 g per wadah. Aerator konvensional dioperasikan selama 12 jam/hari, sedangkan *nanobubble* dioperasikan selama 2 jam/hari. Seluruh perlakuan dioperasikan selama 50 hari. Pengamatan dilakukan terhadap TAN, nitrit, nitrat, TN, fosfat, BOD, pH, DO, ORP, salinitas, suhu, total bakteri, dan komunitas fitoplankton. Karakteristik *nanobubble* dianalisis menggunakan *particle size analyzer* (PSA), sedangkan perubahan senyawa organik dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan aerasi dan IMCSC mampu meningkatkan penghilangan nitrogen dibandingkan kontrol. Konsentrasi TAN menurun secara bertahap selama periode pengamatan, sedangkan nitrit mengalami peningkatan pada fase awal dan selanjutnya menurun hingga akhir penelitian. Efisiensi penghilangan TN tertinggi diperoleh pada perlakuan IMCSC+A sebesar 85,90%, diikuti NB sebesar 84,62%, IMCSC+NB sebesar 84,57%, dan A sebesar

75,55%, sedangkan kontrol hanya mencapai 42,31%. Perlakuan berbasis *nanobubble* menghasilkan kondisi DO dan ORP yang lebih tinggi dibandingkan kontrol dan aerasi konvensional. Karakterisasi *nanobubble* menunjukkan ukuran gelembung dominan pada kisaran 200–300 nm dengan zeta potensial sebesar –32,55 mV.

Penerapan perlakuan juga memperbaiki beberapa parameter kualitas air. Konsentrasi BOD dan fosfat menurun pada perlakuan dibandingkan kontrol, dengan konsentrasi fosfat terendah diperoleh pada IMCSC+A. Perlakuan IMCSC+NB menghasilkan kejernihan air terbaik yang ditunjukkan oleh penurunan absorbansi UV–Vis, terutama pada rentang 200–300 nm. Analisis biologis menunjukkan adanya perbedaan total bakteri antarperlakuan, dengan total bakteri tertinggi ditemukan pada perlakuan NB.

Evaluasi kualitas air pada akhir penelitian dilakukan dengan mengacu pada baku mutu air limbah pertambakan udang berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2025. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa parameter pH, BOD, PO<sub>4</sub> total, dan NH<sub>3</sub> total pada perlakuan aerasi berada dalam batas baku mutu yang ditetapkan. Nilai pH pada akhir penelitian berkisar 8,54–8,85, PO<sub>4</sub> total 0,04–0,11 mg L<sup>-1</sup>, dan NH<sub>3</sub> total 0,55–3,15 mg L<sup>-1</sup>. Nilai BOD pada perlakuan A, NB, IMCSC+A, dan IMCSC+NB masing-masing sebesar 8,00; 8,03; 8,66; dan 8,54 mg L<sup>-1</sup>, sehingga memenuhi baku mutu. Evaluasi tersebut menunjukkan bahwa perlakuan berbasis aerasi mampu menghasilkan kualitas air yang memenuhi parameter baku mutu yang dievaluasi pada akhir penelitian.

Analisis ekonomi menunjukkan bahwa penggunaan *nanobubble* memiliki biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan aerasi konvensional. Perlakuan A memiliki biaya total sebesar Rp86.700, sedangkan IMCSC+A sebesar Rp111.700. Sementara itu, biaya total perlakuan NB sebesar Rp14.450 dan IMCSC+NB sebesar Rp39.450. Dengan efisiensi penghilangan TN sebesar 84,57% dan biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan IMCSC+A, perlakuan IMCSC+NB menunjukkan kombinasi yang baik antara efektivitas penghilangan nitrogen dan efisiensi biaya.

Secara keseluruhan, kombinasi IMCSC dan aerasi *nanobubble* efektif meningkatkan penghilangan nitrogen dan memperbaiki kualitas air buangan tambak udang. Perlakuan IMCSC+NB menunjukkan potensi sebagai teknologi pengolahan air buangan yang efektif dan ekonomis, dengan efisiensi penghilangan TN yang tinggi, perbaikan kualitas air, serta biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan kombinasi IMCSC dengan aerasi konvensional. Teknologi ini berpotensi diterapkan sebagai alternatif pengelolaan air buangan akuakultur untuk mendukung kegiatan budidaya udang yang berkelanjutan.

Kata kunci: air buangan, IMCSC, *nanobubble*, nitrogen, pengolahan air buangan.



## SUMMARY

YULIANTI ANJARSARI. "Optimization of Nitrogen Removal from Shrimp Farm Wastewater Using Nanobubble Aeration and Iron-Based Multi-Carbon Composites". Supervised by KUKUH NIRMALA, EDDY SUPRIYONO, and ABU SAAD AA ANSARI.

The intensification of vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming produces wastewater with high nitrogen content, particularly total ammonia nitrogen (TAN), nitrite, nitrate, and total nitrogen (TN), which can potentially cause eutrophication if discharged without adequate treatment. Biological nitrogen treatment requires an adequate supply of dissolved oxygen to support the nitrification process, while the denitrification process can be limited by the availability of carbon sources and electron donors. The combination of nanobubble aeration and an iron-based multi-carbon source composites (IMCSC) is expected to enhance nitrogen removal by improving oxygen transfer and providing carbon sources and electron donors.

This study aims to evaluate the effectiveness of a combination of nanobubble aeration and IMCSC in enhancing nitrogen removal from shrimp farm effluent and improving water quality. The study used vanamei shrimp farm wastewater from KD Sutoyo's farm in Pemalang, Central Java, originating from a cultivation system with a stocking density of 130 shrimp/m<sup>2</sup> and a DOC of 57 days. The wastewater was first filtered, and then 40 L was transferred into a 50-L container. The study employed a completely randomized design with five treatments: control (C), conventional aerator (A), nanobubble (NB), IMCSC + aerator (IMCSC+A), and IMCSC + nanobubbles (IMCSC+NB), with three replicates for each treatment. IMCSC was formulated using polyvinyl alcohol (PVA), sodium alginate, polycaprolactone (PCL), activated carbon, and micron-sized zero-valent iron as the main components. The preparation process involved homogenization of the materials, freezing, and curing using saturated H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> and 4% CaCl<sub>2</sub>. IMCSC was added at the start of the IMCSC+A and IMCSC+NB treatments at a dose of 100 g per tank. A conventional aerator was operated for 12 hours/day, while the nanobubble system was operated for 2 hours/day. All treatments were conducted for 50 days. Observations were made on TAN, nitrite, nitrate, TN, phosphate, BOD, pH, DO, ORP, salinity, temperature, total bacteria, and the phytoplankton community. Nanobubble characteristics were analyzed using a particle size analyzer (PSA), while changes in organic compounds were analyzed using a UV-Vis spectrophotometer.

The results of the study showed that the application of aeration and IMCSC was able to increase nitrogen removal compared to the control. The TAN concentration decreased gradually during the observation period, while nitrite levels increased in the early phase and subsequently decreased until the end of the study. The highest TN removal efficiency was achieved in the IMCSC+A treatment at 85.90%, followed by NB at 84.62%, IMCSC+NB at 84.57%, and A at 75.55%, while the control group reached only 42.31%. Nanobubble-based treatments produced higher DO and ORP levels compared to the control and conventional aeration. Characterization of the nanobubble showed that the dominant bubble size was in the range of 200–300 nm with a zeta potential of –32.55 mV.

The application of the treatments also improved several water quality parameters. BOD and phosphate concentrations decreased in the treatment groups compared to the control, with the lowest phosphate concentration observed in the IMCSC+A treatment. The IMCSC+NB treatment produced the best water clarity, as indicated by a decrease in UV-Vis absorbance, particularly in the 200–300 nm range. Biological analysis revealed differences in total bacterial counts among the treatments, with the highest total bacterial count found in the NB treatment.

Water quality evaluation at the end of the study was conducted in accordance with the water quality standards for shrimp farm wastewater as stipulated in Regulation of the Minister of Environment and Forestry of the Republic of Indonesia No. 1 of 2025. The evaluation results showed that the pH, BOD, total PO<sub>4</sub>, and total NH<sub>3</sub> parameters in the aeration treatments were within the established quality standards. At the end of the study, pH values ranged from 8.54 to 8.85, total PO<sub>4</sub> from 0.04 to 0.11 mg L<sup>-1</sup>, and total NH<sub>3</sub> from 0.55 to 3.15 mg L<sup>-1</sup>. The BOD values for treatments A, NB, IMCSC+A, and IMCSC+NB were 8.00, 8.03, 8.66, and 8.54 mg L<sup>-1</sup>, respectively, thus meeting the water quality standards. The evaluation demonstrated that aeration-based treatments were capable of producing water quality that met the evaluated water quality parameters at the end of the study.

Economic analysis shows that the use of nanobubble results in lower operating costs compared to conventional aeration. Treatment A has a total cost of Rp86,700, while IMCSC+A costs Rp111,700. Meanwhile, the total cost for the NB treatment is Rp14,450 and for IMCSC+NB is Rp39,450. With a TN removal efficiency of 84.57% and lower operating costs compared to IMCSC+A, the IMCSC+NB treatment demonstrates a good balance between nitrogen removal effectiveness and cost efficiency.

Overall, the combination of IMCSC and nanobubble aeration effectively enhances nitrogen removal and improves the quality of shrimp farm wastewater. The IMCSC+NB treatment shows potential as an effective and economical wastewater treatment technology, with high TN removal efficiency, improved water quality, and lower operating costs compared to the combination of IMCSC and conventional aeration. This technology has the potential to be applied as an alternative for aquaculture wastewater management to support sustainable shrimp farming.

Keywords: IMCSC, nanobubble, nitrogen, wastewater, wastewater treatment.



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

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026  
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.*

# **OPTIMASI PENGHILANGAN NITROGEN AIR BUANGAN TAMBAK UDANG MENGGUNAKAN AERASI *NANOBUBBLE* DAN KOMPOSIT MULTI-KARBON BERBASIS BESI**

**YULIANTI ANJARSARI**

Tesis  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister pada  
Program Studi Ilmu Akuakultur

**PROGRAM MAGISTER ILMU AKUAKULTUR  
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University  
— Bogor Indonesia —

Penguji pada ujian Tesis:

1. Prof. Dr. Munti Yuhana, S.Pi., M.Si.
2. Prof. Dr. Ir. Widanarni, M.Si.

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 University.

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

Perpustakaan IPB University



## @Hak cipta milik IPB University

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



Judul Tesis : Optimasi Penghilangan Nitrogen Air Buangan Tambak Udang Menggunakan Aerasi *Nanobubble* dan Komposit Multi-Karbon Berbasis Besi

Nama : Yulianti Anjarsari  
NIM : C1501241030

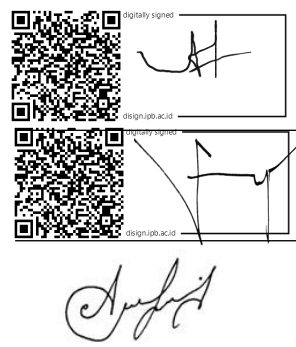
@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh:

Pembimbing 1:  
Prof. Dr. Ir. Kukuh Nirmala, M.Sc.

Pembimbing 2:  
Prof. Dr. Ir. Eddy Supriyono, M.Sc.

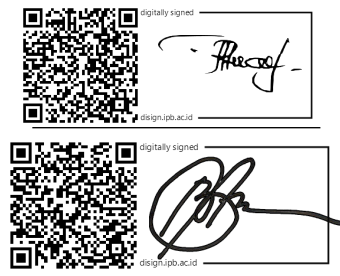
Pembimbing 3:  
Dr. Abu Saad Aqueel Ahmad Ansari, M.Sc., M.Phil.



Diketahui oleh:

Ketua Program Studi:  
Prof. Dr. Ir. Widanarni, M.Si  
NIP. 196709271994032001

Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan:  
Dr. Beginer Subhan, S.Pi., M.Si.  
NIP. 198001182005011003



Tanggal Ujian:  
30 Juli 2026

Tanggal Lulus:



## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga tesis ini berhasil diselesaikan. Dengan bangga saya mempersembahkan penelitian dengan judul “Optimasi Penghilangan Nitrogen Air Buangan Tambak Udang Menggunakan Aerasi *Nanobubble* dan Komposit Multi-Karbon Berbasis Besi”. Ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Kukuh Nirmala, M.Sc. Prof. Dr. Ir. Eddy Supriyono, M.Sc. dan Dr. Abu Saad Aqueel Ahmad Ansari, M.Sc., M.Phil. selaku komisi pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu, pikiran, dan tenaga, untuk bimbingan serta motivasi dan arahan yang diberikan kepada penulis.
2. Kang Akbar Firdaus dan Mba Nisa selaku laboran Laboratorium Lingkungan Akuakultur.
3. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia yang telah membiayai kuliah magister saya hingga lancar terlaksana dari awal hingga akhir ini.
4. Keluarga penulis: Bapak Hamidi (Alm) dan Ibu Pariah, Kakak Irsan Apriansyah, Ayuk Destia Deka Sari serta keponakan Syafiq Arkatama, Syaquil Hamid Arribat serta keluarga besar Cik Agus dan Burdan yang selalu membantu penulis dalam bentuk kasih sayang, semangat, serta doa demi kesuksesan penulis dalam menyelesaikan studi Magister.
5. Kak Isnaini, Wo Indah, Yuk Ria, Bunga, Lila serta teman-teman di Nano Center Indonesia yang telah membantu, memberikan dukungan dan doa dalam menyelesaikan studi Magister.
6. Kak Sani, Gloria, Ghina, Tiwi, Yola, Kak Putri, Kak Novi, Fira, serta seluruh teman-teman akuakultur genap 2024 yang telah membantu dan membersamai penulis sampai tahap akhir penyelesaian tugas akhir ini.
7. Bapak Sutoyo selaku pemilik tambak budidaya udang yang memberikan izin untuk pengambilan limbah.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan terkhususnya di bidang budidaya perikanan.

Bogor, Juli 2026

*Yulianti Anjarsari*



## @Hak cipta milik IPB University

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



## DAFTAR ISI

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| DAFTAR TABEL                    | xiv |
| DAFTAR GAMBAR                   | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN                 | xv  |
| I PENDAHULUAN                   | 1   |
| 1.1 Latar Belakang              | 1   |
| 1.2 Rumusan Masalah             | 2   |
| 1.3 Tujuan                      | 3   |
| 1.4 Manfaat                     | 3   |
| 1.5 Hipotesis                   | 3   |
| II METODE                       | 4   |
| 2.1 Waktu dan Tempat Penelitian | 4   |
| 2.2 Rancangan Penelitian        | 4   |
| 2.3 Prosedur Penelitian         | 4   |
| 2.4 Parameter Uji               | 5   |
| 2.5 Analisis Data               | 8   |
| III HASIL DAN PEMBAHASAN        | 9   |
| 3.1 Hasil                       | 9   |
| 3.2 Pembahasan                  | 18  |
| IV SIMPULAN DAN SARAN           | 23  |
| 4.1 Simpulan                    | 23  |
| 4.2 Saran                       | 23  |
| DAFTAR PUSTAKA                  | 24  |
| DAFTAR LAMPIRAN                 | 29  |
| RIWAYAT HIDUP                   | 50  |



## DAFTAR TABEL

|   |                                                                                                                                                          |    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Rancangan perlakuan optimasi penghilangan nitrogen air buangan tambak udang menggunakan aerasi <i>nanobubble</i> dan komposit multi-karbon berbasis besi | 4  |
| 2 | Parameter kualitas air yang diukur, satuan, metode dan alat pengukuran yang digunakan selama penelitian                                                  | 5  |
| 3 | Acuan baku mutu air limbah pertambakan udang menurut peraturan menteri lingkungan hidup dan kehutanan nomor 1 tahun 2025                                 | 8  |
| 4 | Nilai BOD dan fosfat pada setiap perlakuan selama penelitian 50 hari                                                                                     | 12 |
| 5 | Indeks keanekaragaman, keseragaman, dan dominansi fitoplankton pada setiap perlakuan                                                                     | 15 |
| 6 | Perhitungan <i>economic performance</i>                                                                                                                  | 18 |

## DAFTAR GAMBAR

|    |                                                                                                                                                             |    |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Perubahan konsentrasi total ammonia nitrogen (TAN) pada setiap perlakuan selama periode pengamatan                                                          | 9  |
| 2  | Persentase efisiensi penurunan total TAN pada setiap perlakuan selama periode pengamatan                                                                    | 10 |
| 3  | Perubahan konsentrasi senyawa nitrogen anorganik pada setiap perlakuan selama periode pengamatan 50 hari (a) nitrit dan (b) nitrat                          | 11 |
| 4  | Persentase efisiensi penurunan total nitrogen (TN) pada setiap perlakuan selama periode pengamatan                                                          | 11 |
| 5  | Distribusi ukuran partikel <i>nanobubble</i> oksigen berdasarkan persentase jumlah partikel                                                                 | 12 |
| 6  | Perubahan nilai <i>dissolved oxygen</i> (DO) dan <i>oxidation-reduction potential</i> (ORP) pada setiap perlakuan selama periode pengamatan (a) DO, (b) ORP | 13 |
| 7  | Perubahan parameter kualitas air pada setiap perlakuan selama pengamatan 50 hari (a) suhu, (b) TDS, dan (c) salinitas                                       | 14 |
| 8  | Total bakteri pada setiap perlakuan selama periode pengamatan                                                                                               | 15 |
| 9  | <i>Heatmap</i> kelimpahan relatif (%) fitoplankton pada setiap perlakuan selama periode pengamatan                                                          | 16 |
| 10 | Foto representatif perlakuan yang menunjukkan perubahan tampilan visual air buangan tambak udang pada setiap perlakuan selama periode penelitian            | 16 |
| 11 | Hasil pengamatan spektrum UV-Vis selama penelitian (a) hari ke-3, (b) hari ke-30, (c) hari ke-50                                                            | 17 |



## DAFTAR LAMPIRAN

|    |                                                                                     |    |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | ANOVA dan uji duncan TAN                                                            | 30 |
| 2  | ANOVA dan uji duncan nitrit                                                         | 32 |
| 3  | ANOVA dan uji duncan nitrat                                                         | 34 |
| 4  | ANOVA dan uji duncan BOD                                                            | 36 |
| 5  | ANOVA dan uji duncan fosfat                                                         | 37 |
| 6  | ANOVA dan uji duncan pH                                                             | 37 |
| 7  | ANOVA dan uji duncan DO                                                             | 38 |
| 8  | ANOVA dan uji duncan ORP                                                            | 40 |
| 9  | ANOVA dan uji duncan suhu                                                           | 42 |
| 10 | ANOVA dan uji duncan TDS                                                            | 44 |
| 11 | ANOVA dan uji duncan salinitas                                                      | 45 |
| 12 | ANOVA dan uji duncan indeks keanekaragaman, keseragaman, dan dominansi fitoplankton | 47 |