

**EFEKTIVITAS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
SEDERHANA DALAM MEREDUKSI LIMBAH BUDIDAYA UDANG DI
DESA RUGUK, KECAMATAN KETAPANG, LAMPUNG SELATAN**

(Tesis)

Oleh

**SEPNINA LIKE LESTARI
NPM.2320041027**



**PROGRAM STUDI MAGISTER MANAJEMEN WILAYAH PESISIR DAN LAUT
PASCA SARJANA
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

EFEKTIVITAS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SEDERHANA DALAM MEREDUKSI LIMBAH BUDIDAYA UDANG DI DESA RUGUK, KECAMATAN KETAPANG, LAMPUNG

Oleh:

SEPNINA LIKE LESTARI

Intensifikasi budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) tidak hanya meningkatkan produksi udang tetapi juga berdampak pada penurunan kualitas air buangan dari tambak udang ke perairan pantai. Pengadaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) pada *outlet* limbah budidaya udang menjadi salah satu pilihan untuk mereduksi bahan pencemar. Sistem IPAL termudah dan termurah yaitu menggunakan kolam sedimentasi untuk proses pengendapan partikel limbah (Jackson *et al.*, 2003). Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi IPAL sederhana dalam mereduksi kandungan fosfat, nitrat, *total ammonia nitrogen* (TAN), dan *total organik matter* (TOM), alkalinitas, *dissolve oxygen* (DO), pH, salinitas, *total suspended solid* (TSS), *total dissolve solid* (TDS), dan kelimpahan bakteri *Vibrio* di tambak udang vaname Desa Ruguk, Ketapang, Lampung Selatan. Sebanyak dua kolam digunakan sebagai IPAL sederhana (IPAL1 dan *outlet*) dengan luas masing-masing 2.054 m² dari 12 kolam tambak udang vaname. Keberadaan IPAL di tambak dievaluasi dengan pengukuran kualitas air di empat stasiun yaitu *inlet*, kolam IPAL 1, *outlet*, dan *main outlet* sebanyak tiga kali (sebelum panen, panen parsial, setelah panen). Parameter yang diukur yaitu suhu, kecerahan, nitrat, fosfat, TOM, TAN, alkalinitas, oksigen terlarut, pH, salinitas, TSS, TDS, dan kelimpahan bakteri *Vibrio*. Hasil pengukuran kualitas air menunjukkan bahwa penggunaan IPAL sederhana terbukti efektif meningkatkan kecerahan, oksigen terlarut, dan kelimpahan bakteri *Vibrio*, serta mampu mereduksi TSS, salinitas, fosfat, TAN, dan TOM, tetapi kurang efektif mereduksi TDS, pH, Nitrat, dan alkalinitas. Optimalisasi kinerja IPAL sederhana dapat ditambahkan biofilter (tanaman air), aerasi, kanal IPAL berkelok, dan lamanya waktu pengendapan air.

Kata kunci: IPAL, limbah tambak, reduksi, udang vaname.

ABSTRACT

EFFECTIVENESS OF SIMPLE WASTEWATER TREATMENT INSTALLATION (WWTP) IN REDUCING SHRIMP FARMING WASTE IN RUGUK VILLAGE, KETAPANG DISTRICT, LAMPUNG

Oleh:

SEPNINA LIKE LESTARI

*Intensification of vannamei shrimp farming (*Litopenaeus vannamei*) has not only increased shrimp production but also resulted in a decrease in the quality of wastewater from shrimp ponds to coastal water. The provision of wastewater treatment plants (WWTP) at the outlet of shrimp farming effluents makes one of the choices to reduce pollutants. The easiest and cheapest wastewater treatment system uses a sedimentation pond for the sedimentation process of waste particles (Jackson et al., 2003). The purpose of this study was to evaluate the simple WWTP in reducing phosphate, nitrate, total ammonia nitrogen (TAN), and total organic matter (TOM), alkalinity, dissolved oxygen (DO), pH, salinity, total suspended solids (TSS), total dissolved solids (TDS), and the abundance of *Vibrio* bacteria in vannamei shrimp ponds in Ruguk Village, Ketapang, South Lampung. Two ponds were used as simple WWTPs (WWTP1 and WWTP2) with an area of 2,054m² each from 12 ponds of vannamei shrimp. The presence of WWTP in the ponds was evaluated by measuring water quality at four stations: inlet, WWTP pond 1, outlet, and main outlet by three times (pre-harvest, partial harvest, post-harvest). Parameters measured were temperature, brightness, nitrate, phosphate, TOM, TAN, alkalinity, DO, pH, salinity, TSS, TDS, and the abundance of *Vibrio* bacteria. The results of water quality measurements show that the use of simple WWTP was proven to be effective in increasing brightness, dissolved oxygen, and abundance of *Vibrio* bacteria, and could reduce TSS, salinity, phosphate, TAN, and TOM, but less effective in reducing TDS, pH, Nitrate, and alkalinity. Optimizing the performance of a simple WWTP can be added by biofilters (water plants), aeration, winding WWTP channels, and the length of water settles.*

Keywords: WWTP, pond effluent, reduction, vannamei shrimp

**EFEKTIVITAS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
SEDERHANA DALAM MEREDUKSI LIMBAH BUDIDAYA UDANG DI
DESA RUGUK, KECAMATAN KETAPANG, LAMPUNG SELATAN**

Oleh

SEPNINA LIKE LESTARI

(Tesis)

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER SAINS**

Pada

**Program Studi Magister Manajemen Wilayah Pesisir dan Laut
Pascasarjana Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI MAGISTER MANAJEMEN WILAYAH PESISIR DAN LAUT
PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**Judul Tesis : EFEKTIVITAS INSTALASI PENGOLAHAN
AIR LIMBAH (IPAL) SEDERHANA DALAM
MEREDUKSI LIMBAH BUDIDAYA UDANG
DI DESA RUGUK, KECAMATAN
KETAPANG, LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : Sepnina Like Testari

Nomor Pokok Mahasiswa : 2320041027

Jurusan/Program Studi : Magister Manajemen Wilayah Pesisir dan Laut

Fakultas : Pascasarjana Multidisiplin



I. Komisi Pembimbing

Dr. Qadar Hasani, S.Pi., M.Si.
NIP. 197901182002121002

Dr. Agus Setyawan, S.Pi., M.P.
NIP. 198408052009121003

**2. Ketua Program Studi Manajemen Wilayah Pesisir dan Laut
Universitas Lampung**

Dr. Nur Efendi, S.Sos., M.Si.
NIP. 196910121995121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

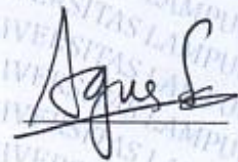
Ketua

: Dr. Qadar Hasani, S.Pi., M.Si.



Sekretaris

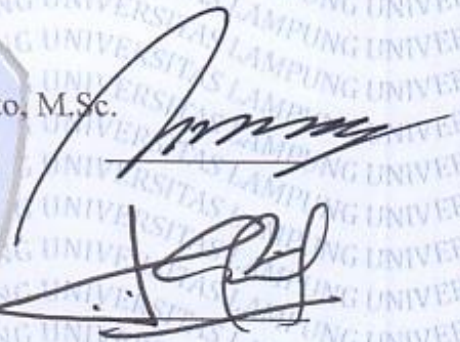
: Dr. Agus Setyawan, S.Pi., M.P.



Penguji

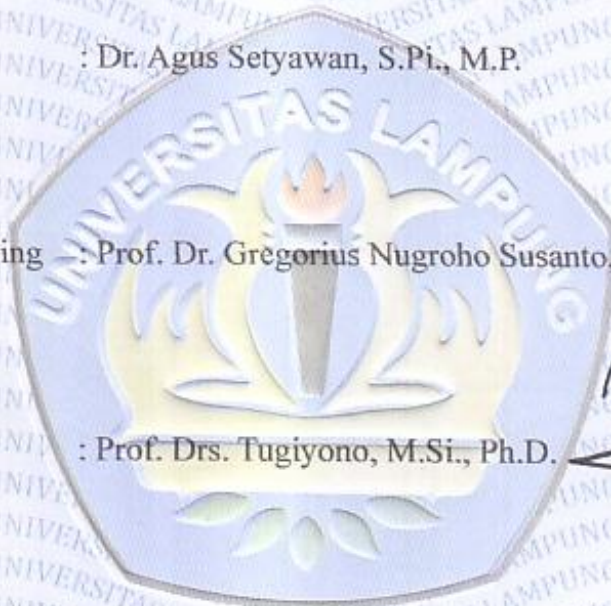
Bukan Pembimbing

: Prof. Dr. Gregorius Nugroho Susanto, M.Sc.



Anggota

: Prof. Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D.



Direktur Pascasarjana Universitas Lampung

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP. 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 24 Januari 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul: **“EFEKTIVITAS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SEDERHANA DALAM MEREDUKSI LIMBAH BUDIDAYA UDANG DI DESA RUGUK, KECAMATAN KETAPANG, LAMPUNG”** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hal intelektual atas karya ini diserahkan sepenuhnya kepada pihak Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya tidak benaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi diberikan kepada saya, saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 24 Januari 2025
Yang membuat pernyataan



SEPNINA LIKE LESTARI
NPM 23200401027

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung, pada tanggal 21 September 2001 sebagai anak ke-4 dari Bapak Madsari dan Ibu Basiyah. Penulis menempuh pendidikan formal dari Taman Kanak-Kanak Al-Hukama pada tahun 2005, pendidikan dasar di SD Negeri 2 Gotong Royong pada tahun 2006, dan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 18 Bandar Lampung pada tahun 2013. Pada 2016 penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 4 Bandar Lampung. Penulis melanjutkan pendidikan jenjang Sarjana (S1) di Program Studi Sumber daya Akuatik, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2019.

Penulis melanjutkan pendidikan jenjang Magister (S2) pada program studi Magister Manajemen Wilayah Pesisir dan Laut, Universitas Lampung pada tahun 2023. Penulis aktif pada himpunan Dewan Pimpinan Daerah (DPD) Ikatan Sarjana Perikanan Indonesia (Ispikani) Lampung sebagai anggota hubungan masyarakat sejak 2024. Penulis menjadi *volunteer* di Kumunitas Gajahlah Kebersihan pada tahun 2023. Penulis menjadi *presenter* latihan dasar manajemen organisasi (LDMO), Himpunan Mahasiswa Perikanan (Himapik) Universitas Lampung. Penulis menjadi *presenter* pada seminar internasional Academic SDGs oleh *Global Goals Submit 2024 an Suppoting United Nations Vision 2030* di Malaysia. Serta, kegiatan *volunteer* oleh *United Nations Vision 2030* dengan penduduk yaman yang dievakuasi di Malaysia. Penulis juga telah menyeminarkan hasil penelitian tesisnya tentang “Kinerja IPAL sederhana dalam mereduksi limbah Budidaya Udang” pada konferensi Bilsel International Çatalhöyük Scientific Researches Congress” 24-25 August, 2024 Konya/Türkiye dan konferensi IconTechss Universitas Lampung.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillah atas rahmat, hidayah, karunia, dan kelancaran serta izin yang Allah SWT berikan kepada like sehingga tesis ini telah selesai sebagai syarat seorang mahasiswa untuk memperoleh gelar magister sains. Kepada kedua orang tua like, Aboy dan Emoy dengan penuh rasa cinta, kasih dan sayang yang tiada terhingga kupersembahkan imbuhan kecil yang kedua kali nya di belakang namaku untuk Aboy dan Emoy.

Aboy dan Emoy yang paling Like sayangi dan cintai sebagai bukti bakti, Like mengucapkan rasa terima kasih atas seluruh dukungan serta doa yang tidak pernah berhenti kalian berikan kepada putri kecil Aboy dan Emoy. Semoga putri kecil Aboy dan Emoy menjadi insan yang lebih baik dan bermanfaat bagi banyak orang.

Kakak-kakak Like tersayang, Chyca Selviasari, Sahal Mustofa, dan Muhammad Jaya Ramadani, serta sahabat dan teman-teman yang telah memberikan dukungan, bantuan, motivasi, ilmu serta semangat selama ini.

Serta

Almamater tercinta, Universitas Lampung

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang telah melimpahkan segala nikmat-Nya sehingga penulis mampu menyusun skripsi yang berjudul “Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sederhana Dalam Mereduksi Limbah Budidaya Udang di Desa Ruguk, Kecamatan Ketapang, Lampung Selatan”. Tesis ini disusun untuk memenuhi syarat lulus sebagai Magister Sains. Selama penulisan tesis, penulis memperoleh banyak dukungan, bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Pascasarjana, Universitas Lampung.
3. Dr. Nur Efendi, S.Sos., M.Si. selaku Ketua Program Studi Magister Manajemen Wilayah Pesisir dan Laut Universitas Lampung, serta selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu mengayomi dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan studinya.
4. Alm. Dr. Supono, S.Pi., M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik dan Pembimbing Tesis yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan, walaupun Beliau pergi lebih dahulu, jasa yang diberikan tidak akan tergantikan.
5. Dr. Qadar Hasani, S.Pi., M.Si. selaku dosen Pembimbing Utama yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan serta ketika penulis menghadapi masalah dan menunjukkan kesalahan penulis serta memberikan saran terbaik, sehingga penulis dapat menyempurnakan tesis dengan optimal
6. Dr. Agus Setyawan, S.Pi., M.P. selaku dosen Pembimbing Kedua yang menunjukkan kesalahan penulis serta memberikan saran terbaik, sehingga penulis dapat menyempurnakan tesis dengan optimal.

7. Prof. Dr. Gregorius Nugroho Susanto, M.Sc selaku dosen Penguji yang memberikan saran terbaik dan pengetahuan dalam pelaksanaan penelitian.
8. Prof. Drs. Tugiyono, M.Si., Ph.D. selaku dosen Penguji yang telah memberikan saran terbaik dan pengetahuan yang lebih dalam pelaksanaan penelitian.
9. Seluruh dosen dan karyawan Pascasarjana khususnya Program Studi Magister Manajemen Wilayah Pesisir dan Laut Universitas Lampung.
10. Keluarga tercinta: Aboy, Emoy, Icit, Aál, dan Jeko yang telah memberikan motivasi serta dukungan dalam proses penelitian.
11. Sahabat tersayang: Zadel, Dilla, Vini, Isnenda, dan Killa yang selalu menemani canda tawa dan hiburan yang indah selama proses kehidupan bersama penulis.
12. Pak Indra dan Pak Winarto, yang telah mengembalikan semangat dan senyum penulis setelah kehilangan almarhum, serta Abang, Mba, Bapak, Ibu terkasih, MWPL angkatan 23 yang mengajarkan nilai-nilai kehidupan sekaligus penyelamat dan penolong penulis dalam menyelesaikan tesis.
13. Kanika Home Swim, Mba Eka, Mba Tuti, Mba Cipa, dan Mba Nita, yang mengajarkan nilai-nilai kehidupan di dunia kerja serta menjadi rumah kedua bagi penulis.
14. Staf laboratorium yaitu Mba Dwi dan Bu Utari yang telah membantu penulis selama penelitian di laboratorium perikanan, Unila dan Laboratorium BBPBL.
15. PT. Aquarev Teknologi Budidaya yang memberikan dana dan kerja sama terhadap tema tesis penulis.
16. Petambak, Teknisi, dan Masyarakat Desa Ruguk, Kecamatan ketapang yang selalu membantu penulis dalam mengambil data penelitian di lapangan.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Namun penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 24 Januari 2024

Penulis,



Sepnina Like Lestari

DAFTAR ISI

	Hal
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Kerangka Pikiran	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Instalasi Pengolahan Akhir Limbah (IPAL)	5
2.2. Kualitas Air	
2.2.1. Suhu	6
2.2.2. Kecerahan	6
2.2.3. <i>Total suspended solid</i> (TSS)	7
2.2.4. <i>Total dissolved solid</i> (TDS)	7
2.2.5. pH	7
2.2.6. Oksigen terlarut	8
2.2.7. Salinitas	8
2.2.8. Nitrat	8
2.2.9. Fosfat	9
2.2.10. <i>Total ammonia nitrogen</i> (TAN)	9
2.2.11. <i>Total organic matter</i> (TOM)	9
2.2.12. <i>Total vibrio count</i> (TVC)	10
2.3. Kriteria Baku mutu air limbah Air	10
2.4. Strategi dan Pengendalian Pencemaran Air	11
2.5. Dampak Limbah Budidaya Udang	11
III. METODE PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat	12
3.2. Alat dan Bahan	14
3.3. Jenis Penelitian	15

3.4. Prosedur Penelitian	15
3.4.1. Pengambilan sampel.....	15
3.4.2. Prosedur Kerja	
3.4.2.1. <i>Total suspended solid</i> (TSS)	16
3.4.2.2. <i>Total dissolved solid</i> (TDS)	16
3.4.2.3. Alkalinitas	17
3.4.2.4. Nitrat	17
3.4.2.5. Fosfat	17
3.4.2.6. <i>Total amonia nitrogen</i> (TAN)	18
3.4.2.7. <i>Total organic matter</i> (TOM)	18
3.4.2.8. <i>Total Vibrio Count</i> (TVC).....	19
3.5. Efektivitas Kinerja IPAL.....	19
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Parameter Fisika	
4.1.1. Suhu dan kecerahan.....	20
4.1.2. TSS dan TDS	21
4.2. Parameter Kimia	
4.2.1. Salinitas dan oksigen terlarut.....	23
4.2.2. pH, nitrat, dan fosfat.....	24
4.2.3. <i>Total ammonia nitrogen</i> (TAN) dan alkalinitas	26
4.2.4. <i>Total organic matter</i> (TOM).....	28
4.3. Parameter Biologi	
4.3.1. <i>Total Vibrio count</i> (TVC).....	30
4.4. Efektivitas IPAL Sederhana	31
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	34
5.2. Saran	34
DAFTAR PUSTAKA.....	35
LAMPIRAN.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel	Hal
1. Baku mutu air limbah (efluen) kualitas air guna budidaya udang vaname berdasarkan KEPMEN KP No.28 Tahun 2004.....	12
2. Deskripsi mengenai stasiun sampling	13
3. Alat yang digunakan	14
4. Bahan yang digunakan	14
5. Variabel penelitian dan pengukurannya	15
6. Kualitas air buangan tambak udang vaname intensif	32
7. Efektivitas IPAL sederhana di Desa Ruguk	33
8. Dokumentasi Penelitian	44
9. Perhitungan efektivitas IPAL sederhana di Desa Ruguk	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Hal
1. Kerangka pikiran penelitian	3
2. Peta penelitian di Desa Ruguk, Kecamatan Ketapang.....	12
3. Skema aliran limbah sampai ke IPAL sederhana di Desa Ruguk	13
4. Kandungan TSS pada sistem IPAL sederhana Desa Ruguk.....	21
5. Kandungan TDS pada sistem IPAL sederhana Desa Ruguk.....	22
6. Kandungan oksigen terlarut pada IPAL sederhana Desa Ruguk.....	23
7. Kandungan nitrat pada sistem IPAL sederhana Desa Ruguk.....	25
8. Kandungan fosfat dalam air tambak Desa Ruguk.....	25
9. Kandungan TAN dalam air tambak Desa Ruguk	27
10. Kandungan alkalinitas dalam air tambak Desa Ruguk	28
11. Kandungan TOM pada sistem IPAL sederhana Desa Ruguk.....	29
12. Bentuk bakteri <i>Vibrio</i> pada budidaya udang di Desa Ruguk	30
13. Kelimpahan bakteri <i>Vibrio</i> pada budidaya udang di Desa Ruguk	31

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem budidaya udang secara intensif yang dilakukan di Kecamatan Ketapang saat ini dapat memberi keuntungan ekonomi bagi petambak. Produksi udang vaname meningkat 2 juta ton pertahun sejak tahun 2020 sampai 2024 (DJPB KKP, 2020; Hidayatullah *et al.*, 2024). Kegiatan budidaya udang secara intensif dapat memicu penurunan kualitas air di Kecamatan Ketapang dan sepanjang Pesisir Timur Lampung (Setyawan *et al.*, 2023). Kualitas air yang buruk dapat menyebabkan penyakit pada udang vaname. Beberapa kasus penyakit yang ditemukan di Kecamatan Ketapang, Kabupaten Lampung selatan yaitu *white spot disease* (WSD) sebesar 58,9%, *infectious myonecrosis virus* (IMNV) sebesar 33,9%, dan *infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus* (IHHNV) sebesar 7,1% (BKIPM Lampung, 2020; Sumino *et al.*, 2020; Setyawan *et al.*, 2023). Lokasi yang berdekatan pada tambak udang vaname Pinang Gading, Kabupaten Lampung Selatan terjadi kerugian akibat wabah penyakit IMNV mencapai 34,83% atau Rp.49.906.080/tahun (Hidayatullah *et al.*, 2024).

Permasalahan sistem budidaya intensif dapat meningkatkan padat tebar dan jumlah pakan yang memicu stress, kontak fisik antar udang, dan mempercepat penyebaran penyakit paling umum yaitu *Vibrio* (Mahata *et al.*, 2024). Pakan yang diberikan pada udang hanya 17% yang diasimilasi menjadi daging (Primavera, 1991), sementara partikel lainnya terbuang dalam bentuk bahan organik, amonia, nitrat, dan fosfat (Supono, 2015). Selain itu, air limbah budidaya mengandung mikroorganisme, polutan organik, dan patogen (Alisawi, 2020). Aliran air limbah budidaya akan menyebabkan pencemaran, perubahan dominansi alami plankton menjadi bakteri, peningkatan H₂S menyebabkan kematian organisme dan tumbuhan

akuatik, serta penebalan lapisan endapan di dasar laut (Notonegoro & Priyambada, 2023; Ridwan *et al.*, 2023). Kestabilan kualitas air diperlukan untuk mendukung kesesuaian lingkungan perairan (Hasani *et al.*, 2021).

Salah satu upaya untuk meminimalkan limbah budidaya udang adalah penerapan instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Sistem IPAL sederhana digunakan untuk mengurangi dan memisahkan polutan yang terkontaminasi dengan air (Notonegoro & Priyambada, 2023). Beberapa penelitian sebelumnya menyatakan bahwa IPAL sederhana memiliki pengaruh signifikan terhadap keberlanjutan budidaya udang vaname. Pada penelitian Syah *et al.* (2017) kolam IPAL sederhana (bantuan aerasi) budidaya udang intensif sebanyak 12 unit kolam tambak, menghasilkan limbah sebanyak 1.200 m³/hari dengan laju alir 20 m³/menit selama lima hari (Syah *et al.*, 2017). Sistem IPAL sederhana dianggap sebagai salah satu cara termudah dan termurah untuk mengolah limbah hanya dengan kolam pengendapan tanpa perlakuan (Jackson *et al.*, 2003). Pada penelitian Bidayani *et al.* (2022) di tambak udang Rajawali Bangka Belitung memiliki 4 petak kolam IPAL dengan *treatment* secara biologi (pengendapan) dibuktikan 100% mencegah kontaminasi air limbah.

Tambak udang di Desa Ruguk dilengkapi dengan sistem IPAL sederhana tanpa aerasi dan fitoremediasi, terdiri dari 12 kolam tambak udang, 1 kanal sedimentasi dan 2 kolam IPAL. Kemampuan dan atau ketidakmampuan IPAL sederhana di Desa Ruguk dalam mereduksi limbah budidaya penting dibuktikan pada penelitian ini.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana efektivitas IPAL sederhana dalam mereduksi limbah fisika yaitu suhu, kecerahan, *total suspended solid* (TSS), dan *total dissolved solid* (TDS) pada budidaya udang.
2. Bagaimana efektivitas IPAL sederhana dalam mereduksi limbah kimia yaitu nitrat, fosfat, pH, *total ammonia nitrogen* (TAN), salinitas, dan oksigen terlarut pada budidaya udang.
3. Bagaimana efektivitas IPAL sederhana dalam mereduksi limbah biologi yaitu *total organic matter* (TOM) dan bakteri *Vibrio* budidaya udang.

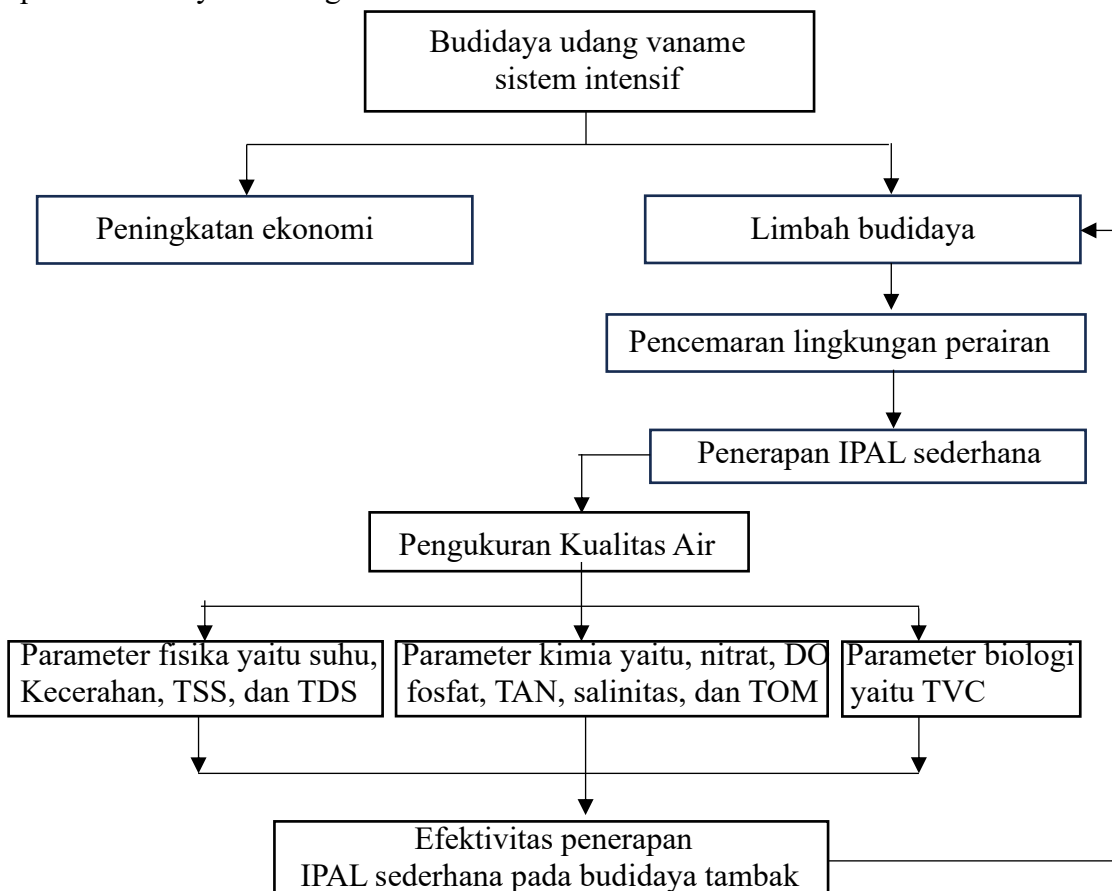
1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi efektivitas IPAL sederhana berdasarkan parameter fisika yaitu suhu, kecerahan, *total suspended solid* (TSS), dan *total dissolved solid* (TDS) pada budidaya udang.
2. Mengevaluasi efektivitas IPAL sederhana berdasarkan parameter kimia yaitu nitrat, fosfat, pH, TAN, salinitas, dan oksigen terlarut pada budidaya udang.
3. Mengevaluasi efektivitas IPAL sederhana berdasarkan parameter biologi yaitu *total organic matter* (TOM) dan bakteri *Vibrio* pada budidaya udang.

1.4. Kerangka Pikiran

Budidaya udang vaname banyak dilakukan karena bernilai jual tinggi, namun demikian limbah yang dihasilkan juga tinggi. Pengadaan sistem IPAL sederhana diindikasikan dalam mengurangi pencemaran air limbah yang dihasilkan. Kerangka penelitian ini yaitu sebagai berikut:



Gambar 1. Kerangka pikiran penelitian

1.5. Manfaat Penelitian

Efektivitas kinerja IPAL sederhana ini dapat dievaluasi bagi peneliti selanjutnya guna menciptakan inovasi dan teknologi baru dalam mereduksi limbah budidaya udang. Selain itu, untuk memastikan kandungan kualitas air limbah yang dikembalikan ke perairan sesuai dengan baku mutu efluen tambak udang (KEPMEN KP No. 28 Tahun 2004) dan pedoman umum pembesaran udang vaname (PERMEN KP No.75 Tahun 2016). Pengembangan dari IPAL sederhana dapat menjadi peluang dalam meningkatkan kesadaran petambak untuk pengadaan IPAL yang lebih sistematis dengan aerasi, kolam sekat, kolam berkelok, dan tanaman fitoremediasi (Fahrur *et al.*, 2016). Serta mengevaluasi standar operasional prosedur (SOP) dan biosekuritas IPAL sederhana di Desa Ruguk, Kabupaten Lampung Selatan dapat layak kembali dijalankan (Hidayatullah *et al.*, 2024).

Jika kualitas air limbah budidaya terbukti sesuai baku mutu efluen maka selaras dengan penelitian McIntosh & Fitzsimmons (2003) yang mengemukakan bahwa limbah budidaya bermanfaat meningkatkan kesuburan tanaman pada kegiatan pertanian dibandingkan dengan air tanah. Kecamatan Ketapang dan wilayah pesisir Kabupaten Lampung Selatan lainnya terdapat budidaya rumput laut menggunakan perairan laut yang terbukti tumbuh subur (Setyawan *et al.*, 2023).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Instalasi Pengolahan Air Limbah

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) merupakan sistem yang dirancang untuk mengolah air limbah dari berbagai sumber, termasuk limbah domestik, industri, pertanian dan perikanan seperti budidaya udang. Teknologi ini dilakukan dengan menyaring, mengurangi, dan menyerap polutan (Sulistia & Septisya, 2019). Sistem IPAL terbagi menjadi dua sesuai dengan metode pengolahannya yaitu IPAL sederhana dan modern. Sistem IPAL sederhana (hanya menggunakan dua sampai lima tandon sedimentasi) (Jackson *et al.*, 2003) dan fitoremediasi dengan bantuan tumbuhan air (Bidayani *et al.*, 2022). Proses ini dilakukan dengan memetakan aliran air limbah yang dibuat memanjang dan berkelok sebelum dialirkan ke sungai.

IPAL modern yang terdiri dari minimal 4 kolam IPAL dengan perlakuan (sedimentasi, oksidasi menggunakan mesin aerasi, bioremediasi, dan aktualisasi) (Ridwan *et al.*, 2023). Proses pengolahan ini dapat secara anaerob dan aerob. Proses aerob memerlukan aerasi untuk pertumbuhan mikroorganisme dan kesuburan perairan. Pengolahan secara anaerob dengan mengurangi sedimentasi lumpur, meningkatkan biogas yang tinggi, namun mikroorganisme tidak dapat tumbuh di perairan (Febrianto *et al.*, 2016).

Komponen polutan terakumulasi di IPAL, sebagian besar mengendap dan bagian yang lain mengalir menjadi limbah (Ribarova *et al.*, 2017). Partikel-partikel yang terendap di IPAL akan tereduksi dengan bantuan fitoremediasi, seperti tumbuhan eceng gondok dan rumput laut (McIntosh & Fitzsimmons (2003)). Sistem IPAL sederhana merupakan pilihan termurah dan termudah untuk pengolahan limbah air yang aman digunakan kembali tanpa menyebabkan bahaya yang signifikan.

2.2. Kualitas Air Tambak

Pengukuran kualitas air adalah gambaran kondisi perairan. Kualitas air terbagi menjadi tiga parameter yaitu fisika (suhu, kecerahan, *total suspended solid* (TSS), *total dissolved solid* (TDS)); parameter kimia (pH, oksigen terlarut, salinitas, nitrat, fosfat, dan *total ammonia nitrogen* (TAN)); dan parameter biologi yaitu *total organic matter* (TOM), dan *total Vibrio count* (TVC). Standar kualitas air yang baik untuk budidaya udang intensif yaitu suhu air berkisar 28-30°C, kecerahan air <30 cm, TSS <80mg/L, TDS, nitrat <0,5 , fosfat 0,6-1 mg/L, pH 7,5-8,5; TOM ≤90 mg/L, TAN <0,01 mg/L, salinitas 10-30, oksigen terlarut ≥4 mg/L, alkalinitas 80-140 mg/L (Supono, 2015; Farabi & Latuconsina, 2023; Yessy *et al.*, 2024)

2.2.1. Suhu

Suhu perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor eksternal seperti paparan sinar matahari langsung, suhu udara, cuaca, iklim dan faktor lingkungan lainnya. Suhu memiliki peran penting terhadap proses perubahan sifat air, seperti densitas air, kelarutan gas, kelarutan senyawa, dan lain-lain (Boyd, 2015). Suhu mampu mengurangi waktu pengendapan dalam mereduksi fosfor dengan 20°C selama tiga hari menjadi lima hari pada suhu 10°C (Alisawi, 2020). Selain mereduksi fosfor, suhu juga mampu mereduksi nitrogen air pada lumpur aktif sehingga memperlambat kekeringan (Arnell *et al.*, 2021).

Suhu optimal dalam proses pengolahan limbah di IPAL berkisar 32-35°C (Boyd, 2015). Berdasarkan penelitian Alisawi (2020), jika suhu meningkatkan maka proses efektivitas pengolahan limbah secara kimia akan menurun dari 30°(62%) menjadi 60°C (38%). Penurunan suhu pada pengolahan air limbah secara biologis akan meningkat dari 10°C (40%) menjadi 30°C (70%) sangat efektif (Alisawi, 2020).

2.2.2. Kecerahan

Kecerahan air dipengaruhi oleh pencahayaan sinar matahari akibat kondisi pencampuran beberapa partikel zat padat yang tersuspensi dalam air. Kecerahan optimal dapat memengaruhi pertumbuhan fitoplankton dan organisme akuatik

seperti udang vaname. Menurut Boyd & Tucker (2012), kecerahan optimal berkisar 50-85 cm. Kecerahan perairan tambak udang di pagi hari (41-100cm) lebih tinggi dibandingkan dengan sore hari (34-100cm) (Halim *et al.*, 2022).

2.2.3. Total suspended solid (TSS)

Total suspended solid (TSS) biasanya terbentuk akibat pengendapan jumlah kering sedimen yang terkandung dalam air limbah. Baku mutu air limbah TSS yang disarankan berdasarkan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia No.28 Tahun 2004, tentang efluen budidaya udang <200 mg/L mg/l. Padatan TSS di kolam budidaya udang dan IPAL berkisar 137,5-475 mg/L (Samocha *et al.*, 2012). Padatan TSS biasanya mengandung material yang halus seperti lanau, bahan organik, mikroorganisme, partikel sisa pakan, dan feses udang yang terlarut dalam air (Sulistia & Septisya, 2019).

2.2.4. Total dissolved solid (TDS)

Total dissolved solid pada perairan dapat menggambarkan kesuburan suatu lingkungan perairan. Kandungan TDS dapat ditingkatkan dengan efektivitas sumber oksigen seperti aerator. Penggunaan pakan, pupuk, dan obat udang diindikasikan dapat meningkatkan kandungan TDS (Iber & Kasan, 2021). Semakin tinggi kandungan TDS maka semakin menurun produktivitas alga dan bakteri, sampai menyebabkan kematian pada tumbuhan akuatik (Phan & Dinh, 2017).

2.2.5. pH

Keasaman atau *potential hidrogen* (pH) air dapat ditetapkan berdasarkan kandungan ion hidrogen (H^+) yang terlarut dalam air (Supono, 2015). Air limbah tambak umumnya bersifat alkalis (basa) karena mengandung bahan organik seperti senyawa karbonat, bikarbonat, dan hidroksida. Nilai toksisitas pH pada air tambak dipengaruhi oleh bahan kimia, pakan, feses, dan faktor eksternal lainnya terhadap proses biokimiawi di perairan (Metcalf & Eddy, 2003). Perairan tambak yang mengalami peningkatan pH diindikasikan mengandung amonia yang tinggi juga, sebaliknya semakin rendah pH maka alkalinitas semakin rendah (Supono, 2015).

2.2.6. Oksigen terlarut

Oksigen terlarut atau *dissolved oxygen* (DO) adalah tingkat kelarutan oksigen atau O₂ yang terkandung di dalam air. Oksigen terlarut yang optimal mampu mengurangi konsumsi energi dan mereduksi nitrogen (Du *et al.*, 2023). Menurut Alisawi (2020) kebutuhan oksigen secara kimia dan biologi pada pengolahan air limbah di pengaruhi oleh suhu. Semakin tinggi suhu maka BOD dapat terlarut secara efektif sampai 70%, sedangkan semakin rendah suhu maka COD dapat terlarut sampai 62% (Alisawi, 2020). Penurunan kelarutan oksigen menyebabkan peningkatan toksisitas amonia pada budidaya udang intensif (Ariadi *et al.*, 2016).

2.2.7. Salinitas

Salinitas merupakan kandungan ion-ion (sodium, potasium, kalium, magnesium, klorida, sulfat, dan bikarbonat) yang terlarut dalam air (Supono, 2015). Salinitas juga berperan terhadap perubahan tingkat kerja osmotik (TKO) pada pertumbuhan, pernapasan, dan metabolisme organisme akuatik. Perubahan drastis salinitas dapat menimbulkan stres pada organisme akuatik (Abdurachman, 2022). Salah satu contohnya adalah udang putih (*Litopenaeus vannamei*) akan mengalami stres bahkan kematian jika perubahan salinitas secara drastis (Supono, 2015).

2.2.8. Nitrat

Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai toksisitas nitrat pada hewan akuatik dan hasilnya menunjukkan bahwa nitrat bereaksi dengan hemoglobin yang menyebabkan kekurangan oksigen dalam tubuh mereka (methemoglobin) dan akhirnya kematian (Mook *et al.*, 2012). Kandungan nitrat (NO₃) dipengaruhi oleh aktivitas lingkungan yang menyumbang limbah seperti pemukiman, industri, pertanian, dan perikanan (Hasibuan *et al.*, 2021). Peningkatan kandungan nitrat dapat menyebabkan eutrofikasi di perairan yang menghambat kesehatan organisme (Zhou *et al.*, 2023). Adapun beberapa metode yang dapat digunakan guna mengurangi kandungan nitrat di kolam IPAL yaitu dengan pertukaran ion (elektrodialisis), katalis Pd-Cu bimetalik, lumpur aktif, penanaman algae di daerah sekitar dan menggunakan aerasi (Yun *et al.*, 2018).

2.2.9. Fosfat

Kandungan fosfat (PO_4) yang tinggi mendorong pertumbuhan ganggang sehingga menghambat oksigen (Legasari *et al.*, 2023). Kandungan fosfat yang tinggi di tandai dengan bau yang tidak sedap, warna air lebih hijau keruh, dan kekeruhan yang anomali (Noviarni *et al.*, 2023). Penurunan fosfat dapat dilakukan dengan pengendapan untuk mengurangi bahan kimia yang terkandung (Jackson *et al.*, 2003). Fosfat efluen meningkat bersama dengan peningkatan suhu air dari 8,3 mg/L (30°C) menjadi 14 mg/L (40%) (Alisawi, 2020). Dampak fosfat pada organisme yaitu merusak sel ginjal, hati, peredaran darah, dan racun (Legasari *et al.*, 2023).

2.2.10. Total ammonia nitrogen (TAN)

Amonia (NH_3) adalah produk respirasi ikan dan dekomposisi bahan organik berlebih (Mook *et al.*, 2012). Amonia terbentuk akibat perubahan nitrogen organik dalam air menjadi nitrogen amonia. Selain itu, amonia juga dapat terbentuk akibat pupuk, vitamin (*feed suplement*), pakan udang, dan zat buatan lainnya yang mengandung amonia sehingga mengalami pembusukan di air atau bahkan dalam feses udang. Amonia akan terhidrolisis menjadi amonia total (NH_3 (tak terionisasi) dan NH_4^+ (terionisasi)) yang akan terurai dalam air (Sulistia & Septisya, 2019).

2.2.11. Alkalinitas

Kandungan alkalinitas dapat mempertahankan pH. Jika alkalinitas tinggi maka pH harian akan tetap stabil (Yessy *et al.*, 2024). Hal ini disebabkan oleh kandungan koagulan anorganik yang dapat mengurangi alkalinitas air dan pH. Sedangkan koagulan organik tidak mempengaruhi alkalinitas dan pH (Apriliyani *et al.*, 2023).

2.2.12. Total organic matter (TOM)

Bahan organik terbentuk dari detritus, fitoplankton, sisa pakan, feses, dan aktivitas mikroorganisme yang meningkatkan kandungan bahan organik. Komposisi air limbah organik dari kegiatan budidaya udang mengandung 50% protein, 40% karbohidrat, 10% polutan organik (Alisawi, 2020). Menurut Hasibuan *et al.* (2021) kandungan organik total dipengaruhi oleh oksigen yang terlarut dalam air. Semakin

rendah DO maka semakin tinggi total organik di perairan maka semakin banyak organisme yang menyerap DO dan TOM (Hasibuan *et al.*, 2021).

2.2.13. Total vibrio count (TVC)

Bakteri *Vibrio* dapat menginfeksi jika imunitas udang dan kualitas air menurun, dengan ciri badan udang pucat, flek hitam, usus kosong, ekor coklat, dan kaki merah (Madonsa *et al.*, 2022; Mahata *et al.*, 2024). Bakteri *Vibrio* dapat menyebabkan kematian lebih dari 90% dalam waktu 24-48 jam setelah terinfeksi (Mahata *et al.*, 2024). Menurut Taslihan *et al.* (2004) keberadaan *Vibrio* normal pada kelimpahan 10^4 CFU/mL dan batas maksimal total bakterinya sebesar 10^6 CFU/mL. Jika koloni <30 maka akan menghasilkan perhitungan kurang representatif, namun demikian pula jika >300 koloni akan terjadi persaingan antar koloni (Suharman *et al.* 2023).

2.3. Kriteria Baku mutu air limbah Air

Baku mutu air limbah air limbah merupakan kandungan minimal dan maksimal kandungan terukur saat dialirkan ke sungai (*main outlet*), laut, maupun tanah. Berdasarkan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia No.28 Tahun 2004, tentang Pedoman Umum Budidaya Udang di Tambak. Kebijakan tersebut harus memenuhi standar baku mutu efluen tambak udang sebagai berikut:

Tabel 1. Baku mutu air limbah (efluen) kualitas air guna budidaya udang vaname.

Parameter	Satuan	Rata-rata
Fisika		
Kekeruhan	<i>Nephelometer Turbidity Unit</i> (NTU)	≤ 50
TSS	mg/L	<200
Kimia		
pH	-	6,0-9,0
BOD ₅	mg/L	<45
PO ₄ ⁻³	mg/L	$<0,1$
H ₂ S	mg/L	$<0,03$
NO ₃	mg/L	<75
NO ₂	mg/L	$<2,5$
NH ₃	mg/L	$<0,1$
Biologi		
<i>Dinoflagellata</i>		
<i>Gymnodinium</i>	Individu/L	$<8 \times 10^2$
<i>Peridinium</i>	Individu/L	$<8 \times 10^2$
Bakteri Patogen	<i>Calory Froming Unit</i> (CFU)	$<10^2$

2.4. Strategi dan Pengendalian Pencemaran Air

Strategi yang seharusnya dilakukan guna mengurangi pencemaran air yaitu dengan mengadakan sistem sirkulasi air. Selain itu, melakukan pengolahan limbah sekurang-kurangnya pengadaan kanal sedimentasi. Kanal sedimentasi memiliki panjang 1,2 km dapat membantu proses pengendapan limbah udang seperti sisa pakan dan feses. (Jackson *et al.*, 2003). Strategi resirkulasi parsial air limbah budidaya udang dapat membantu mengurangi kandungan pencemaran pada air limbah. Pembuangan limbah padat dengan teknik sifon dan resirkulasi setiap seminggu sekali dapat mereduksi limbah selama masa pemeliharaan udang (Fahrur *et al.*, 2016).

Pemanfaatan sistem biologi dengan fitoremediasi menggunakan tanaman air, dan rumput laut dapat mereduksi bahan pencemar dari limbah tambak udang lingkungan (Saiya & Katoppo, 2015; Ganji *et al.*, 2024). Menurut penelitian Fahrur *et al.* (2016) sistem IPAL intensif dan superintensif menggunakan 10% luas tambak atau satu tandon terdiri dari petak sedimentasi, oksigenasi, biokonversi, dan penampungan air. Petak sedimentasi berfungsi untuk menurunkan TSS dan TOM, petak oksigenasi untuk menurunkan BOD dan meningkatkan oksigen terlarut. Petak biokonversi berfungsi untuk menurunkan N dan P dengan bantuan rumput laut dan kerang-kerangan, sedangkan petak penampungan akhir air berguna *controlling* atau uji bioassay dengan berbagai jenis ikan (Fahrur *et al.*, 2016).

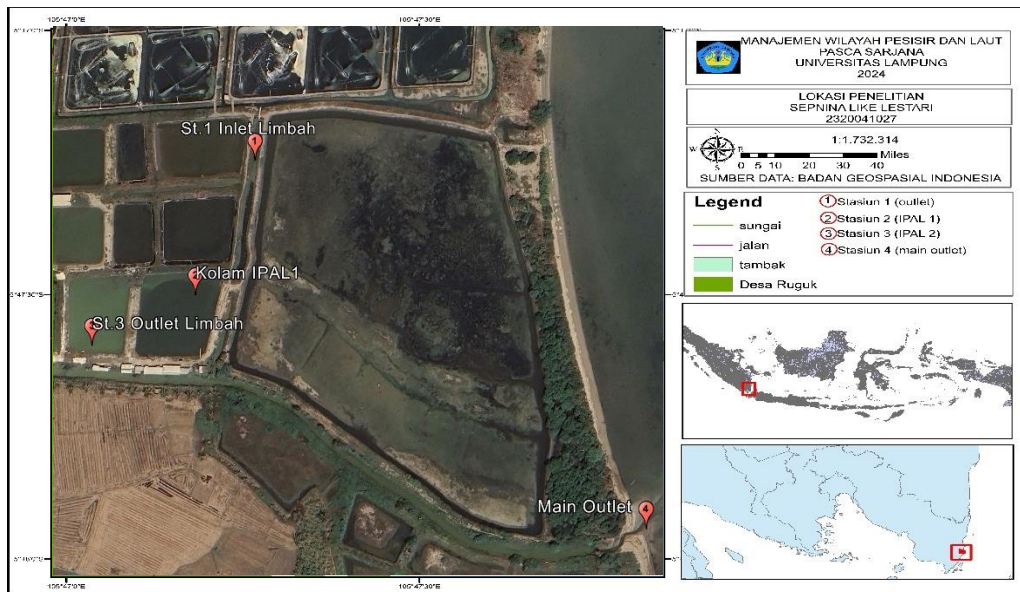
2.5. Dampak Limbah Budidaya Udang

Limbah hasil kegiatan budidaya udang akan meningkatkan pencemaran perairan. Penurunan kualitas air juga dapat menyebabkan udang stres, mudah terserang penyakit berupa virus, jamur, parasit, dan bakteri yang bersifat patogen (Mahata *et al.*, 2024). Selain itu, limbah berdampak negatif terhadap struktur dan fungsi komunitas akuatik di badan air yang menerima serta penghancuran habitat secara ekologis (Meer *et al.*, 2023). Pelepasan polutan dari kegiatan tambak udang yang bersifat toksisitas seperti obat, pestisida, *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) akan mengakibatkan dampak sampai ke kesehatan manusia (Servien *et al.*, 2022).

III. METODE PENELITIAN

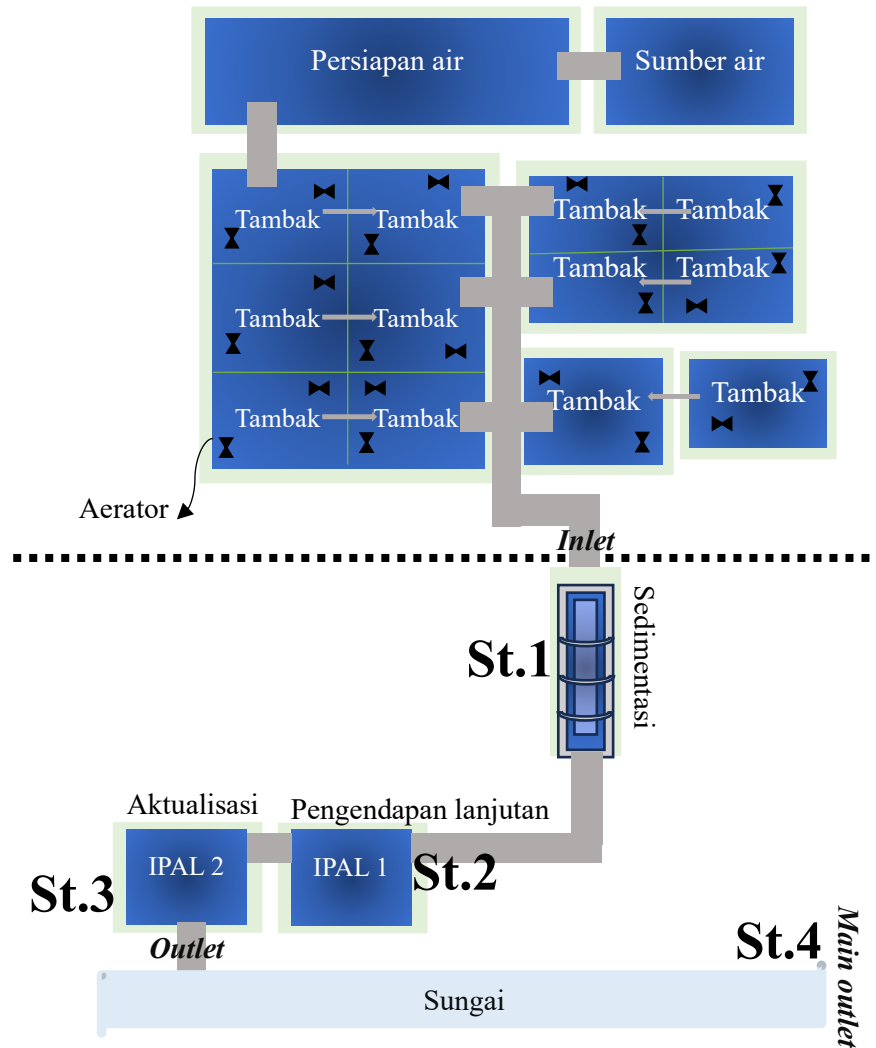
3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret sampai September 2024. Sampel air diambil di lokasi budidaya udang vaname di Desa Ruguk, Kecamatan Ketapang (Gambar 2). Sampel dianalisis di Laboratorium Produktivitas Lingkungan Perairan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan Laboratorium Kualitas Air, Balai Besar Perikanan Budidaya Laut Lampung.



Gambar 2. Peta penelitian di Desa Ruguk, Kecamatan Ketapang

Sampel diambil secara *purposive sampling* sebagai keterwakilan lingkungan sekitar (Tabel 2). Sistem IPAL yang digunakan oleh petambak di Desa Ruguk adalah IPAL sederhana, dimana *inlet* merupakan aliran pertama air limbah yang masuk ke kanal sedimentasi dan pengeringan partikel limbah. Tahap selanjutnya air akan mengalir ke kolam IPAL 1 yang akan membantu mengendapkan dan mereduksi limbah budidaya udang (Gambar 3). Kandungan mikropolutan air yang kurang optimal diendapkan akan direduksi kembali di kolam akualisasi atau *outlet* (Servien *et al.*, 2022). Sistem IPAL sederhana ini tanpa aerator dan fitoremediasi.



Gambar 3. Skema aliran limbah sampai ke IPAL sederhana di Desa Ruguk (Modifikasi DirJen Perikanan Budidaya KKP, (2019)).

Penelitian ini dilakukan dengan memonitor kualitas air pada empat stasiun yaitu *inlet*, IPAL1, *outlet*, dan *main outlet* (Gambar 3), dengan titik koordinat yaitu:

Tabel 2. Deskripsi mengenai stasiun sampling

St	Koordinat	Gambaran	Gambar
1	-5°47'22,266"S 105°47'31,596"E	<i>Inlet</i> : kanal sepanjang 210 meter dan lebar 5 meter	
2	-5°47'27,582"S 105°47'30,822"E	IPAL 1: panjang dan lebar kolam 45 meter, luas 2.054m.	
3	-5°47'27,702"S 105°47'28,902"E	<i>outlet</i> : luas sama, tinggi air 80 cm, volume air 28 cm ³ .	
4	-5°47'28,47"S 105°47'41,646"E	<i>Main outlet</i> , merupakan aliran sungai dan limbah IPAL ke perairan laut.	

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk menguji sampel pada penelitian ini terdapat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Peralatan yang digunakan dalam penelitian yaitu sebagai berikut:

No	Alat	Fungsi
1	Termometer	Untuk mengukur suhu air
2	pH meter	Untuk mengukur keasaman
3	Refraktometer	Untuk mengukur salinitas perairan
4	Spektrofotometer	Untuk mengukur kekeruhan air
5	<i>Secchi disk</i>	Untuk mengukur tingkat kecerahan
6	TDS meter	Untuk mengukur <i>total dissolved solid</i>
7	Tiang skala	Untuk mengukur kedalaman air
8	DO meter	Untuk mengukur oksigen air
9	Botol	Untuk sampel air
10	Kertas saring <i>whattman</i>	Untuk menyaring sampel dan preparasi TSS
11	Desikator	Untuk pendinginan kertas saring TSS
12	Timbangan digital	Untuk mengukur bobot sampel/kertas saring
13	Tabung reaksi	Untuk meletakkan sampel
14	<i>Hotplate</i>	Untuk memanaskan sampel
15	Oven	Untuk mengeringkan sampel
16	Labu ukur	Untuk mengukur massa air
17	Pipet tetes	Untuk memindahkan air dengan jumlah kecil
18	Cawan petri	Untuk mengisolasi bakteri TVC

Tabel 4. Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu sebagai berikut:

No	Bahan	Fungsi
1	Sampel air	Untuk bahan uji
2	KMnO ₄ 0,01 N	Untuk uji <i>total organic matter</i>
3	H ₂ SO ₄ 6N	Untuk uji <i>total organic matter</i>
4	Na ₂ S ₂ O ₃	Untuk uji <i>total organic matter</i>
5	H ₂ C ₂ O ₄ 0,01 N	Untuk uji <i>total organic matter</i>
6	<i>sulfanilamide</i>	Untuk uji nitrat
7	<i>naptil</i>	Untuk uji nitrat
8	<i>Ammonium molybdate</i>	Untuk uji total amonia nitrogen
9	<i>natrium salisilat</i>	Untuk uji total amonia nitrogen
10	<i>natrium sitrat</i>	Untuk uji total amonia nitrogen
11	<i>natrium nitroprusida</i>	Untuk uji total amonia nitrogen
12	asam sianurat	Untuk uji total amonia nitrogen
13	dikloro asam sianurat	Untuk uji total amonia nitrogen
14	akuades	Untuk menetralsir alat atau pelarut murni
15	NH ₄ Cl	Untuk uji total amonia nitrogen
16	Phenolptalein	Untuk uji alkalinitas
17	H ₂ SO ₄ 0,02N	Untuk uji alkalinitas
18	Indikator BCG-MR	Untuk pengukuran alkalinitas
19	<i>Thiosulfate Citrate Bile Salt Sucrose Agar</i>	Untuk media agar TVC

3.3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksploratif dengan mengevaluasi efektivitas penerapan IPAL sederhana pada budidaya udang yang dipelihara secara intensif di Desa Ruguk, Kecamatan Ketapang, Kabupaten Lampung Selatan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas air IPAL sederhana dengan beberapa metode. Variabel penelitian digunakan untuk menentukan metode yang akan digunakan dalam pengujian kualitas air (Tabel 5). Pengukuran kualitas air sebanyak 3 kali dengan kurun waktu satu siklus pemeliharaan udang (sebelum panen pada *day of culture*, (DOC 45), panen parsial (DOC 113), dan panen total (DOC 139).

Tabel 5. Variabel penelitian dan pengukurannya.

No	Variabel	Alat/Metode
1	Suhu	Termometer
2	Kecerahan	Secchi disk
3	TSS	Penyaringan
4	TDS	TDS meter
5	Salinitas	Refraktro meter
6	DO	DO meter
7	pH	<i>Electrometric method</i> (pH meter)
8	Alkalinitas	Titiasi
9	Nitrat	Test kit
10	Fosfat	Spektofotometer
11	<i>Total amonia nitrogen</i>	Spektofotometer
12	<i>Total organik matter</i>	Titiasi
13	<i>Total Vibrio Count</i>	Penanaman bakteri

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Pengambilan sampel

Sampel air diambil pada empat stasiun (*inlet*, IPAL1, *outlet*, dan *main outlet*) sebanyak 1.000 mL. Sampel diambil dengan kedalaman kurang lebih 5 cm dari permukaan air sesuai dengan SNI 06-6989.11:2004. Sampel air dimasukkan dalam botol dan disimpan dalam *coolbox* sebelum dianalisis di laboratorium. Pengambilan sampel bersamaan dengan pengukuran kualitas air secara langsung (*insitu*). Pengukuran dimulai dengan mengukur pH, suhu, salinitas, kecerahan. Tingkat keasaman air diukur menggunakan pH meter dengan memasukkan pH meter sedalam 5 cm air pada setiap stasiun (SNI 06-6989.11:2004). Tahap selanjutnya

yaitu pengukuran oksigen terlarut menggunakan DO meter. Pengukuran oksigen terlarut dibarengi dengan pengukuran suhu menggunakan termometer. Kecerahan menggunakan *secchidisk*, serta salinitas diukur menggunakan refraktometer.

3.4.2. Prosedur kerja

3.4.2.1. *Total suspended solid (TSS)*

Pengukuran TSS berdasarkan standar nasional Indonesia (SNI) 06-6989.3:2004 dimulai menyaring sampel menggunakan kertas saring *whattman* ukuran 0,45 μm . Kertas saring dibasahi dengan aquades 10 ml dan dioven selama 1 jam sebelum ditimbang bobot kertas saring tanpa residu (A). Kertas saring tersebut digunakan kembali untuk menyaring air sampel sebanyak 100 ml dan dioven pada temperatur 105°C selama 1 jam (B). Tahap terakhir kertas saring didinginkan di desikator selama 30 menit lalu ditimbang. Hasil timbangan kertas saring harus sampai bobot konstan sebelum dan sesudah terdapat residu (APHA, 1998; Sulistia & Septisya, 2019).

$$TSS \text{ mg/L} = (B - A) \frac{1000}{\text{Volume sampel (ml)}}$$

Keterangan:

A = Berat kertas kering (mg)

B = Berat kertas saring dan residu (mg)

3.4.2.2. *Total dissolved solid (TDS)*

Pengukuran *total dissolved solid (TDS)* menggunakan TDS meter yang pada air sampel sedalam 2-3 cm sesuai dengan SNI 06-6989.3:2004. TDS dapat menggambarkan zat padat yang terkandung di dalam limbah cair tambak udang (Farida *et al.*, 2021). Tingginya kandungan TDS dapat disebabkan oleh peningkatan mikroorganisme yang mengkonversi daun-daun dan detritus menjadi amonia dalam air (Phan & Dinh, 2017; Irawanto *et al.*, 2023).

3.4.2.3. Alkalinitas

Sampel sebanyak 25 ml ditambahkan dua tetes phenolptalein, jika warna bening menandakan $\text{CO}_3^{2+}=0$, namun jika berwarna merah muda dititrasi dengan H_2SO_4

0,02N sampai berubah menjadi bening. Tahap selanjutnya sampel ditambahkan dua tetes indikator BCG-MR dan dilakukan titrasi kembali dengan H₂SO₄ 0,02N sampai warna biru hilang. Volume titran yang terpakai (mL) dicatat untuk perhitungan volume total alkalinitas (APHA 1998; Bintoro & Abidin, 2014).

$$\text{Total alkalinitas (mg/L)} = \frac{V \times N \times 50 \times 1000}{\text{Volume sampel}}$$

Keterangan:

V = Volume titran H₂SO₄ (mL)

N = Normalitas titran H₂SO₄

V sampel = Volume sampel (mL)

3.4.2.4. Nitrat (N)

Pengukuran kandungan nitrat mengacu pada Beranda *et al.* (2020). Sampel air yang disaring sebanyak 10 mL menggunakan kertas saring *whattman* 42 µm. Sampel dimasukkan ke tabung reaksi bersama dengan 5 tetes EDTA, 10 tetes *sulfanilamide* dan naptil kemudian dialirkan di saringan kolom Cd. Selanjutnya didiamkan selama 10 menit kemudian dimasukkan ke dalam spektrofotometer gelombang 543 nm.

3.4.2.5. Fosfat (P)

Pengukuran fosfat mengacu pada SNI 8567:2018 dan Beranda *et al.* (2020). Sampel yang sudah disaring sebanyak 50 mL dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Lalu ditambahkan 1 mL asam askorbat dan 1 mL larutan campuran (12,5 ml amonium molibdat, 25 ml H₂SO₄ 4,5M serta 2 mL kalium antimonil ttrat) dihomogenkan dan didiamkan selama 10 menit kemudian diukur dengan spektrometer 880 nm.

3.4.2.6. Total ammonia nitrogen (TAN)

Pengujian kandungan total amonia nitrogen berdasarkan Badan Standarisasi Nasional SNI 19-6964.3-2003. Sebanyak 25 ml air sampel disaring menggunakan kertas saring ukuran pori 0,45 µm. Sampel yang telah disaring diambil 10 ml air sampel kemudian ditambahkan 0,5ml larutan fenol; 0,5ml larutan natrium nitroprusid; dan 1ml larutan oksidator. Ketiga larutan beserta air sampel

dihomogenkan dan didiamkan selama 1 jam (Yudiati *et al.*, 2010). Tahap terakhir yaitu pengukuran menggunakan spektrofotometer panjang gelombang 640 nm.

3.4.2.7. *Total organic matter (TOM)*

Kandungan *total organic matter* (TOM) diuji sesuai dengan SNI 8567:2018. Sebanyak 50 ml air sampel yang dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 10 ml H₂SO₄ 6N, Selanjutnya diteteskan 9,5 ml KMnO₄ 0,01 N sampai berwarna merah muda (10 ml) dengan tujuan untuk meningkatkan senyawa organik dioksidasi menjadi tingkat tinggi. Tahap selanjutnya yaitu dengan memanaskan larutan tersebut menggunakan bunsen ± 80 °C selama 10 menit sampai larutan berubah warna menjadi lebih bersih atau bening. Tahap terakhir yaitu menambahkan 10 ml asam oxalat yang membuat larutan berubah warna menjadi bening. Titrasi larutan tersebut menggunakan meneteskan KMnO₄ 0,01 N sampai warna merah muda yang dianggap hasil nilai TOM. Persamaan perhitungan TOM dihitung dengan titran KMnO₄ (Yudiati *et al.*, 2010).

$$TOM (mg/l) = \frac{(b - a) \times 31,6 \times 0,01 \times 1000}{\text{volume sampel}}$$

Keterangan:

A = ml titran larutan KMnO₄ 0,01 N

b = ml titran air sampel

31,6 = $\frac{1}{5}$ BM KMnO₄ karena tiap mol KMnO₄ melepaskan 5 oksigen.

0,01 = Normalitas KMnO₄

3.4.2.8. *Total Vibrio Count (TVC)*

Kelimpahan bakteri *Vibrio* yang berasal dari air limbah budidaya udang vaname sebanyak 1 kali pada (*Day of care*, DOC 45, DOC 113, dan DOC 139). Media kultur untuk TVC menggunakan media *Thiosulfate Citrate Bile Salt Sucrose Agar* (TCBSA) dengan metode *pour plating* (Supono, 2019; Widigdo *et al.*, 2020). Media TCBS sebanyak 88 gram dilarutkan dalam 1 liter aquades, kemudian dituangkan ke dalam cawan petri dengan ketebalan 15-20 mL (Mahata *et al.*, 2024). Sebanyak 0,1 ml sampel di tuang ke dalam cawan petri menggunakan mikro pipet ke dalam media

TCBSA dan diratakan menggunakan *spreader*. Tahap terakhir diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Tahap selanjutnya yaitu perhitungan koloni bakteri *Vibrio* yang tumbuh di cawan petri dan dihitung menggunakan rumus *total plate count* (TPC) (Madonsa *et al.*, 2022). Perhitungan jumlah koloni menggunakan persamaan *colony forming unit* (CFU) (Rizaldi *et al.*, 2024).

$$TVC (CFU/mL) = \sum koloni \times 10^1$$

3.5. Efektivitas Kinerja IPAL Sederhana

Efektivitas kinerja IPAL dapat dihitung dengan membandingkan selisih nilai masing-masing parameter kualitas air berdasarkan rata-rata inlet sampai ke *outlet*.

$$Efektivitas IPAL (\%) = \frac{A (nilai inlet) - B (nilai outlet)}{A (nilai outlet)} \times 100$$

Klasifikasi dibagi menjadi beberapa kelas yaitu (Tchobobanaglou *et al.*, 1991):

Sangat efektif : $x > 80\%$

Efektif : $70\% < x = 80\%$

Cukup efektif : $40\% < x = 60\%$

Kurang efektif: $20\% < x = 40\%$

Tidak efektif : $< 20\%$

Hasil pengukuran kualitas air dicatat dan dianalisis secara deskriptif kuantitatif, untuk mengevaluasi tingkat efektivitas pada setiap parameter kualitas air, selama satu siklus budidaya udang.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kolam IPAL sederhana mampu mereduksi parameter kualitas air sebagai berikut:

1. IPAL sederhana cukup efektif meningkatkan kecerahan (55%) dan mereduksi TSS (43%), namun demikian kurang efektif mereduksi TDS (36%).
2. IPAL sederhana cukup efektif meningkatkan oksigen terlarut (41%), mereduksi salinitas (31%), TOM (43%), fosfat (55%), dan TAN (61%), tetapi tidak efektif mereduksi nitrat (9%), pH (3%), alkalinitas (12%).
3. IPAL sederhana meningkatkan bakteri *Vibrio* (95%) menuju DOC 134 (panen).

5.2. Saran

Kolam IPAL sederhana hanya dengan sedimentasi tanpa aerasi dan fitoremediasi cukup efektif mengurangi limbah air budidaya udang sebelum dialirkan ke lingkungan perairan laut. Namun demikian, ketidakmampuan IPAL sederhana mereduksi kandungan TDS, nitrat, dan alkalinitas, disarankan untuk menambah pengadaan fitoremediasi. Reduksi air limbah budidaya menggunakan bioremediasi dari rumput laut cukup efektif mereduksi limbah pencemar (McIntosh & Fitzsimmons, 2003). Hal ini diperlukan untuk keberlanjutan (*sustainable*) lingkungan di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, M.H. 2022. Pengaruh salinitas terhadap pertumbuhan lobster batik. *Jurnal Marikultur*. 4(1): 22-30
- Alisawi, H.A.O. 2020. Performance of wastewater treatment during variable temperature. *Applied Water Science*. 10(89): 1-6
<https://doi.org/10.1007/s13201-020-1171-x>
- Apriliyani, I., Ainuri, M., dan Suyantohadi, A. 2023. Analisis terhadap kinerja instalasi pengolahan air limbah (IPAL) pada Industri Gudeg Kaleng di PT XYZ Yogyakarta. *Journal of agriTECH*. 43(1): 78-84. DOI: :
<http://doi.org/10.22146/agritech.71076>
- APHA. 1992. *Standart Methods fot The Examination of Water and Wastewater*, 16th Edition. American Public Health Association, Washington DC. 76p.
- Ariadi, H., Mahmudi, M., & Fadjar, M. 2019. Correlation between density of *Vibrio* bacteria with *Oscillatoria* sp. abundance on intensive *Litopenaeus vannamei* shrimp ponds. *Research Journal of Life Science*. 6(2): 114-129
- Arnell, M., Ahlstrom, M., Warff, C., & Saagi, R., & Jeppson U. 2021. Plant-wide modelling and analysis of WWTP temperature dynamics for sustainable heat recovery from wastewater. *Journal of Water Science and Technology*. 84(4): 1023-1036. DOI: <http://doi.org/10.2166/wst.2021.277>
- Balai Karantina Ikan dan Pengawasan Mutu Hasil Perikanan (BKIPM) Lampung. 2020. Diseminasi hasil kegiatan monitoring penyakit ikan tahun 2020. Bandar Lampung.
- Bidayani, E., Robin, & Syarif F. 2022. Implementasi SOP cara budidaya ikan yang baik (CBIB) pada industri tambak udang di Kabupaten Bangka Selatan. *Jurnal Perikanan*. 12(4): 632-640. DOI: <http://doi.org/10.29303/jp.v12i4.386>
- Bintoro, A., & Abidin, M. 2013. Pengukuran total alkalinitas di perairan estuari sungai Indragiri Provinsi Riau . *Biology Teaching and Learning*. 11(1):11–14.
- Boyd, CE. 2015. *Water Quality*. Springer. 353p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4>

- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. 2012. *Pond aquaculture water quality management*. Springer Science & Business Media. 192p.
- Beranda, O.O., Amin, B., & Siregas, S.H. 2020. The relationship of nitrate and phosphate with abundance of epipellic in the waters of sungaitohor village, Regency Of Meranti Islands, Riau Province. *Asian Journal of Aquatic Science*. 3(3):225-235.
- Du, S., Chen, P., Han, H., & Qiao, J. 2023. Dissolved oxygen concentration control in wastewater treatment process based on reinforcement learning. *Science China Technological Sciences*. 66: 2549–2560. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11431-022-2403-8>
- Fahrur, M., Undu, M.C., & Syah, R. 2016. Performa Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) tambak udang vaname superintensif. *Prosiding Forum Teknologi Akuakultur*. 285-293
- FAO Food and Agriculture Organization. 2021. FAO Yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2019/FAO annuaire. Statistiques des pêches et de l'aquaculture 2019/FAO anuario. *Estadísticas de pesca y acuicultura*. Roma (IT): FAO.
- Farabi, A.I., & Latuconsina, H. 2023. Manajemen kualitas air pada pembesaran udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dua UPT.BAPL (Budidaya Air Payau dan Laut) Bangil Pasuruan Jawa Timur. *Jurnal Riset Perikanan dan Kelautan*. 5(1):1-13.
- Farida, H.N., Mijani, R., Arida, F.N., & Siti, A. 2021. Effectiveness of chitosan to reduce the color value, turbidity, and total dissolved solid in shrimp-washing wastewater. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 7(115): 82-88. DOI: 10.18551/rjoas.2021-07.08.
- Febrianto, J., Purwanto, M.Y.J., & Santosa, R.B.W. 2016. Pengolahan air limbah budidaya perikanan melalui proses anaerob menggunakan bantuan material bambu. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 1(2): 83-90
- Fitria, D., Scholz, M., Swift, G.M., & Al-Faraj, F. 2022. Impact of temperature and coagulants on sludge dewaterability. *International Journal of Technology*. 13(3): 596-605. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i3.4886>
- Ganji, F., Kamani, H., Ghayebzadeh, M., Abdipour, H., & Moein, H. 2024. Evaluation of physical and chemical characteristics of wastewater and sludge of Zahedan urban wastewater treatment plant for reuse. *Journal of Helion*. 10(1). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24845>
- Halim, A.M., Fauziah, A., & Aisyah, N. 2022. Kesesuaian kualitas air pada tambak udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di CV. Lancar Sejahtera Abadi,

- Probolinggo, Jawa Timur. *Jurnal Chanos chanos*. 20(2): 77-88. DOI: <http://doi.org/10.15578/chanos.v20i2.11773>
- Hasani, Q., Pratiwi, N.T.M., Wardiatno, Y., Effendi, H., Yulianto, H., Yusuf, M.W., Caesario, R. and Farlina. 2021. Assessment of water quality of the ex-sand mining sites in Pasir Sakti Sub-District, East Lampung for tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 8(4): 3007-3014, DOI: <http://doi.org/10.15243/jdmlm.2021.084.3007>
- Hasibuan, A.S.F., Supriyantini, E., & Sunaryo. 2021. Pengukuran parameter bahan organik di Perairan Sungai Silugonggo, Kecamatan Juwana, Kabupaten Pati. *Buletin Oseanografi Marina*. 10(3): 299-306.
- Hidayatullah, D., Fadlilah, R.A., Sukenda, & Effendi, I. 2024. Evaluasi sistem produksi udang vaname *Litopenaeus vannamei* saat terjadi wabah penyakit IMNV di Tambak Udang Pinang Gading, Bakauheni, Lampung Selatan. *Octopus Jurnal Ilmu Perikanan*. 13(1): 1-7
- Hofmann, A.H., Liesegang S.C., Keuter, V., Eticha, D., Steimetz, H., & Katayama, S.T. 2024. Nutrient recovery from wastewater for hydroponic systems: A comparative analysis of fertilizer demand, recovery products, and supply potential of WWTPs. *Journal of Environment Management*. 325(119960). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119960>
- Iber, B.T., & Kasan, N.A. 2021. Recent advances in Shrimp aquaculture wastewater management. *Journal of Heliyon*. 7:1-9. DOI: [10.1016/j.heliyon.2021.e08283](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08283)
- Irawanto, R., Cahyani, N.W., & Aunurohim. 2023. The ability of *Mexican Primrose Willow*, *Ludwigia octovalvis*, (Jacq.) P.H. raven leaves (*Onagraceae*) as a biofiltrator of organic content in Freshwater Area. *Berkalah Ilmiah Biologi*. 14(3): 32-40. DOI: 10.22146/bib.v14i3.10136
- Jackson, C.J., Preston, N., Burford, M.A., & Thompson, P.J. 2003. Managing the development of sustainable shrimp farming in Australia: the role of sedimentation ponds in treatment of farm discharge water. *Journal of Aquaculture*. 226(1): 23-34. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00464-2](http://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00464-2)
- KEPMEN KP No.28 Tahun 2004. Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia No.28 Tahun 2004, tentang Pedoman Umum Budidaya Udang di Tambak baku mutu efluen tambak udang
- Legasari, L., Noviarni, N., Wijayanti, F., Oktaria, M., & Miarti, A. 2023. Analisis kandungan fosfat pada air sungai menggunakan spektrofotometri UV-VIS. *Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*. 6(2): 59-64. DOI: <https://doi.org/10.33627/re.v6i2.1227>

- Lestari, D.S., & Rohaeni, A.Y. 2020. Evaluasi kinerja IPAL domestik metode MBBR untuk mengurangi tingkat pencemaran air di Waduk "X", Jakarta. *Jurnal Sumber daya Air*. 16(2): 91-102
- Licha, N.Q., & Kumar, M.S. 2017. Evaluation of mechanical methods used for the enhancement of dissolved oxygen and removal of ammonia toxicity from intensive shrimp farming wastewater. *Journal of Engineering Computers & Applied Sciences (JECAS)*. 6(11):26-41
- Madonsa, C., Widigdi, B., Kristanti, M., & Yuhana, M. 2022. Intensive *Litopenaeus vanamei* pond performance with irrigation system based on distribution of *Vibrio sp.* *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir, dan Perikanan*. 13(2): 182-191.
- Mahata, P.G.E., Mahasri, G., & Sulmartiwi, L. 2024. Phagocytosis index (IF) and total *Vibrio* count (TVC) of Vaname shrimp (*Litopenaeus vanamei*) in intensive ponds. *Journal of Aquaculture Science*. 9(1): 1-6
- McIntosh, D. & Fitzsimmons, K. 2003. Characterization of effluent from an inland, low salinity shrimp farm: what contribution could this water make if used for irrigation. *Journal of Aquaculture Engineering*. 27(1): 147-156
- Meer, T.V.V.D., Davey, C.J.E., Verdonschot, P.F.M., & Kraak MHS. 2023. Removal of nutrients from WWTP effluent by an algae-mussel trophic cascade. *Journal of Ecological Engineering*. 190(106930): 1-10
- Metcalf dan Eddy., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., dan Stensel, H. D. 2003. *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). New York: McGraw-Hill. 210p
- Mook, W.T., Chakrabarti, M.H., Aroua, M.K., Khan, G.M.A., Ali, B.S., Islam, M.S., & Hassan, M.A.A. 2012. Removal of total ammonia nitrogen (TAN), nitrate and total organic carbon (TOC) from aquaculture wastewater using electrochemical technology: A review. *Journal of Desalination*. 285(1): 1-13. DOI:10.1016/j.desal.2011.09.029
- Notonegoro, H., & Priyambada, A. 2023. Evaluasi mutu kualitas air kolam IPAL tambak udang skala rakyat Desa Kurau Barat Kabupaten Bangka Tengah. *Jurnal Enggano*. 8(2):172-180.
- Noviarni, N., F. Wijayanti, M. Oktaria, & A. Miarti. 2023. Analisis kadar fosfat pada air sungai menggunakan Spektrofotometri Uv-Vis. *Jurnal Redoks: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*, 6(2): 59-64.
- Novotny, V., dan Olem, H. 1994. *Water quality: Prevention, identification, and management of diffuse pollution*. Van Nostrand Reinhold. 1054p.
- Phan, T.D., & Dinh, N.T. 2017. Highly efficient treatment of shrimp farm wastewater by using the horizontal subsurface flow (HSSF) Constructed

- Wetlands with *Phragmites australis* Plant. *Asian Journal of Environment and Acology*. 4(3): 1-9. DOI: <http://doi.org/10.9734/AJEE/2017/37021>
- Primavera, J.H. 1991. Intensive prawn in the philippines: ecological, sosial and economic implication. *Ambio*.20(1): 28-33
- Ribarova, I., Dimitrova, S., Lambeva, R., Winthens, T., Stemann, J., & Remmen, K. 2017. Phosphorus recovery potential in Sofia WWTP in view of the national sludge management strategy. *Journal of Resouces, conservation and Recycling*. 116: 152-159. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.003>
- Ridwan., Hadi, F., Basra, M.S., dan Hirijal, M. 2023. Profil dan kinerja instalasi pengolahan air limbah pada pembesaran udang vaname secara intensif. *Prosiding Seminar Nasional dalam Rangka Dies Natalis Ke-35 Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan*. 4(1): 251-260
- Rizaldi, R., Sabdaningsih, A., Ayuningrum, D., & Bahry, M.S. 2023. Analisis hubungan parameter fisika kimia kualitas air dengan total *Vibrio spp.* pada tambak udang vaname yang diberikan probiotik jamur. *Sains Akuakultur Tropis : Indonesian Journal of Tropical Aquaculture*, 9(1): 1-14. DOI: <https://doi.org/10.14710/sat.v9i1.24421>
- Saiya, H.G., & Katoppo, D.R. 2015. Waste management of shrimp farms as starting point to develop integrated farming systems (case study: Kuwaru Coast, Bantul, Yogyakarta, Indonesia). *Journal of degraded and mining lands management*. 3(1): 423-432
- Samocha, T.M., A. Braga, V. Magalhaes, B. Advent, and T.C.Morris. 2013. *Ongoing studies advance intensive shrimp culture in zero-exchange biofloc raceway*. Global Aquaculture. 38-40 pp.
- Servien, R., Leenknecht, C., Bonnot, K., Rossard, V., Latrille, E., Mamy, L., Benoit, P., H'elias, A., Patureau, D. 2022. Improved impact assessment of micropollutants release from WWTPs. *Journal of Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 5(100172):1-6. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100172>
- Setyawan, A., Hudaidah, S., Supono, Fidyandini, H.P., Prasetyo, A., Firdaus, G.N., Adiputra, Y.T. 2023. Diseminasi suplementasi alginat untuk meningkatkan produksi udang vannamei di tambak masyarakat Desa berundung, Lampung Selatan. *Jurnal Pengabdian Fakultas Pertanian Universitas Lampung*. 2(2): 59-65
- Sumino., Saputra, I., & Mude, H. 2020. Peran cara karantina ikan yang baik (CKIB) dalam pencegahan penyakit virus pada udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Provinsi Lampung. *Jurnal Enggano*. 5(2): 258-272

- Sulistia, S., dan Septisya, A.C. 2019. Analisis kualitas air limbah domestik perkantoran. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. 12(1):41-57
- Supono. 2015. *Manajemen lingkungan untuk akuakultur*. Plantaxia. 122p
- Supono, Wardiyanto, Harpeni, E., Khotimah, A.H., Ningtyas, A., 2019 Identifikasi *Vibrio* sp. sebagai penyebab penyakit feses putih pada udang putih *Penaeus vanamei* dan penanganannya dengan ramuan herbal di Kabupaten Lampung Timur, Indonesia. *Journal of Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation Bioflux*, 12(2):417-425.
- Supono, 2021 Status terkini analisis teknis dan ekonomi budidaya udang darat di Provinsi Lampung, Indonesia. *Journal of Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation Bioflux*, 14(1):218-226.
- Syah, R., Fahrur, M., Suwoyo, H.S., & Makmur. 2017. Performasi instalasi pengolahan air limbah tambak udang superintensif. *Media akuakultur*. 12(2): 96-103
- Taslihan A., Fairus M.S., Supito. 2015. *Petunjuk Teknis pengendalian penyakit berak putih (white feces diseases) pada udang vaname di tambak*. Kementerian Kelautan dan Perikanan Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya (BBPBAB). 23 pp.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Metcalf., & Eddy. 1991. *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. 3rd Ed. McGraw-Hill, 1334 pp.
- Widigdo, B., Pratiwi, N.T.M., & Alfaris, F.F. 2020. Keberadaan bakteri pasca aplikasi biosida di tambak pemeliharaan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Biologi Indonesia*. 16(2): 241-250.
- Yessy, L. T., Ezraneti, R., & Khalil, M., Ezraneti, R. 2024. Quantitative analysis of water quality parameters and their influence on the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vanamei*) culture: a case study of Rancong mariculture area in Lhokseumawe, Aceh, Indonesia. *Journal of Marine Studies*, 1(1): 1-11. <https://doi.org/10.29103/joms.v1i1.15815>
- Yudiati, E., Arifin. & Riniatsih, I. 2010. Pengaruh aplikasi probiotik terhadap laju sintasan dan pertumbuhan tokolan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*), populasi bakteri *Vibrio*, serta kandungan amoniak dan bahan organik media budidaya. *Ilmu Kelautan*.15 (3): 153 -158
- Yun, Y., Li, z., Chen, Y.H., Saino, M., Cheng, S., & Zheng, L. 2018. Elimination of nitrate in secondary effluent of wastewatertreatment plants by Fe₀and Pd-Cu/diatomite. *Journal Of Water Reuse and Desalination*. 08(1): 29-37. DOI:10.2166/wrd.2016.122

Zhou, Y., Zhu, Y., Zhu, J., Li, C., Chen, G. A. 2023. Comprehensive Review on Wastewater Nitrogen Removal and Its Recovery Processes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3429): 1-27, DOI: 20, 3429. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043429>