Desain Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Tambak Udang Vaname Intensif di CV X, Desa Campurejo, Panceng, Kabupaten Gresik

Moh. Anshor[1)], Rodu Dhuha Afrianisa[1)]*, Taty Alfiah[1)]
[1)] Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arief Rahman Hakim No.100, Surabaya, Jawa Timur
*Email: rodu@itats.ac.id

Abstrak

Kegiatan budidaya udang menghasilkan limbah cair dengan Budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dengan sistem intensif menghasilkan limbah cair dengan kandungan bahan organik dan nutrien tinggi yang berpotensi mencemari lingkungan perairan. Penelitian ini bertujuan merencanakan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada tambak udang intensif milik CV. X di Desa Campurejo, Kecamatan Panceng, Kabupaten Gresik, agar efluen yang dihasilkan memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 28 Tahun 2004. Perancangan dilakukan berdasarkan hasil uji laboratorium karakteristik limbah dan analisis operasional tambak. Alternatif pengolahan ditentukan menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP), yang menghasilkan kombinasi proses biofilter anaerobik–aerobik sebagai opsi terbaik berdasarkan kriteria teknis, efisiensi penurunan beban pencemar, dan kebutuhan lahan. Rancangan IPAL terdiri atas kolam ekualisasi, biofilter anaerobik 1, biofilter anaerobik 2, biofilter aerobik, dan kolam pengendapan akhir. Kapasitas pengolahan dirancang sebesar 1.405,7 m^3/hari dengan waktu tinggal yang disesuaikan pada tiap unit. Kebutuhan lahan untuk pembangunan IPAL sebesar 534,88 m^2.

Kata kunci: *IPAL, tambak udang vaname intensif, biofilter anaerobik-aerobik, air limbah, Kabupaten Gresik*

Abstract

Intensive vannamei shrimp (Litopenaeus vannamei) farming produces wastewater with high organic and nutrient loads, which can contaminate surrounding waters without proper treatment. This study designs a Wastewater Treatment Plant (WWTP) for X Firm's intensive shrimp ponds in Campurejo Village, Panceng District, Gresik Regency, ensuring the effluent meets the quality standards set by the Regulation of the Minister of Marine Affairs and Fisheries No. 28 of 2004. The design process uses laboratory test results of wastewater characteristics and operational analysis of the ponds. The Analytical Hierarchy Process (AHP) method determines treatment alternatives, identifying a combination of anaerobic–aerobic biofilter processes as the most effective based on technical feasibility, pollutant removal efficiency, and land requirements. The proposed WWTP includes an equalization pond, anaerobic biofilter 1, anaerobic biofilter 2, aerobic biofilter, and a final sedimentation pond. It has a treatment capacity of 1,405.7 m^3/day, with retention times optimized for each unit. The design requires 534.88 m^2 of land.

Keywords: *WWTP, intensive vannamei shrimp farming, anaerobic-aerobic biofilter, wastewater, Gresik Regency*

1. PENDAHULUAN

Kota Gresik, dengan keunggulan geografis yang dimilikinya, memiliki potensi besar dalam pengembangan sektor kelautan dan perikanan (Hariyanto, *et al*., 2024). Salah satu subsektor yang berkembang pesat adalah budidaya udang, khususnya komoditas vaname (*Litopenaeus vannamei*), yang tersebar luas di kawasan pesisir seperti Kecamatan Panceng.

Aktivitas budidaya ini memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian lokal, namun juga memunculkan tantangan lingkungan yang kompleks. Seiring dengan meningkatnya skala produksi melalui sistem intensif dan super intensif, persoalan pencemaran lingkungan akibat akumulasi limbah budidaya menjadi semakin mengkhawatirkan (Saktiawan & Rupiwardani, 2021).

Limbah yang dihasilkan dari kegiatan budidaya di tambak dapat berupa limbah padat maupun limbah terlarut. Limbah padat biasanya terdiri dari sisa pakan, kotoran ikan, mikroorganisme yang telah mati, sedangkan limbah terlarut mencakup senyawa seperti amonia, urea, karbon dioksida, nitrogen, dan fosfor (Dauda *et al*., 2019; Nguyen dan Maeda, 2015). Pakan yang tersisa serta kotoran ikan diketahui menjadi penyebab utama terbentuknya lumpur pada lapisan sedimen di dasar tambak (Prasetiyono *et al*., 2023). Dalam satu siklus budidaya, lumpur yang dihasilkan dapat mencapai 35–60 ton per hektar, yang apabila tidak dikendalikan akan meningkatkan konsentrasi amonia dan menurunkan kadar oksigen terlarut (Preston, *et al*., 2001). Selain itu, akumulasi unsur hara hasil dekomposisi bahan organik juga berpotensi meningkatkan salinitas dan menyebabkan blooming (Fajri, 2009).

Beberapa penelitian terdahulu seperti penelitian oleh Ugroseno et al. (2019) di Kabupaten Probolinggo menunjukkan bahwa kadar BOD_5, TSS, fosfat, dan senyawa lain dalam limbah tambak jauh melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 28 Tahun 2004. Hal ini diperkuat oleh data Hariyanto, *et al*. (2024), yang juga mencatat tingginya kadar H_2S dan BOD mencapai lebih dari 708,6 mg/L. Kondisi tersebut tidak hanya mengancam kehidupan biota air, tetapi juga dapat memicu konflik sosial akibat gangguan terhadap lingkungan pemukiman pesisir. Permasalahan ini disebabkan oleh kurangnya kesadaran dalam pengelolaan sistem budidaya tambak udang. Pembuangan air limbah yang langsung ke laut berkontribusi pada pencemaran ekosistem pesisir, meningkatkan risiko kerusakan lingkungan yang signifikan (Relingga *et al*., 2024).

Dalam konteks Kabupaten Gresik, praktik budidaya tambak udang vaname dengan metode intensif telah berkembang pesat, didorong oleh potensi lahan tambak yang luas mencapai 28.653,27 hektar dan garis pantai sepanjang 140 km (Hariyanto, *et al*., 2024). Namun, kondisi eksisting di CV X menunjukkan bahwa air limbah hasil budidaya masih langsung dibuang ke laut tanpa melalui instalasi pengolahan terlebih dahulu. Hal ini menyebabkan gangguan lingkungan berupa bau tidak sedap dan risiko pencemaran perairan sekitar tambak, terutama saat proses pergantian air (Sintawati *et al*., 2024; Basri *et al*., 2025). Meski belum ada

kajian spesifik di pesisir utara Gresik, potensi kerusakan lingkungan tetap harus diantisipasi, terlebih mengingat upaya peningkatan produksi udang untuk memenuhi target nasional yang dapat memicu ekspansi tambak baru.

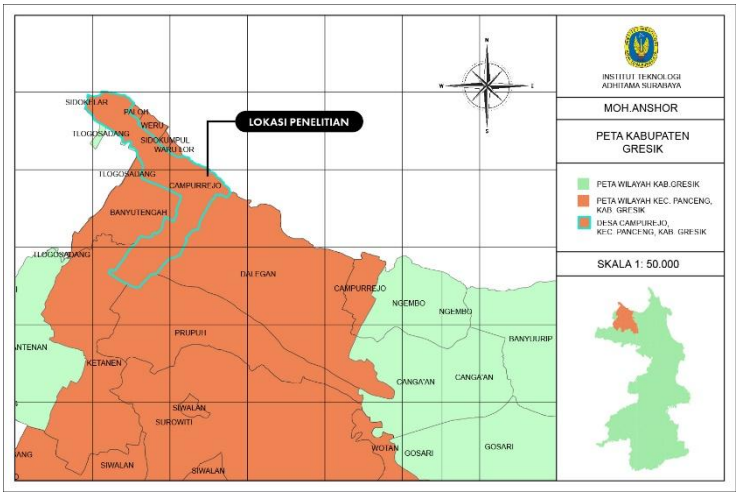
Oleh karena itu, diperlukan solusi teknis berupa pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang dapat mengolah air limbah hingga memenuhi baku mutu sebelum dilepaskan ke lingkungan. Hal ini dilakukan dengan memantau indikator kualitas air seperti TSS, DO, BOD_5, pH, nitrit, nitrat, dan fosfat. (Fahrur, Undu, & Rachmansyah, 2016). Perencanaan IPAL yang tepat dapat menjadi model percontohan bagi petambak lain di kawasan pesisir Gresik yang menghadapi tantangan serupa. Lebih dari itu, implementasi IPAL harus memperhatikan kondisi lahan, efisiensi produksi, serta biaya konstruksi yang terukur.

Dalam studi ini, pendekatan yang digunakan mencakup analisis karakteristik limbah tambak di CV X, penentuan diagram alir alternatif pengolahan air limbah berdasrkan metode Analytical Hierarchy Process (AHP), perancangan unit IPAL, serta penyusunan Rencana Anggaran Dana (RAB) sebagai gambaran biaya dan material. Dengan perencanaan yang matang, keberadaan IPAL akan berkontribusi pada pengembangan tambak yang berkelanjutan dan ramah lingkungan di Kabupaten Gresik.

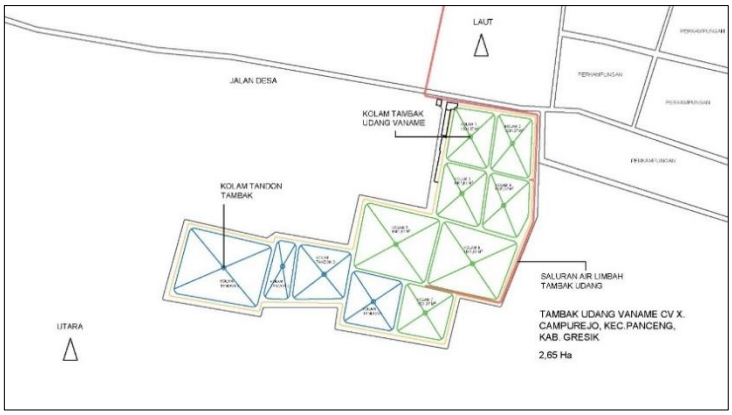
2. BAHAN DAN METODE

2.1 Metode

Studi ini dilakukan dengan tahapan sistematis mulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data, analisis karakteristik limbah, perancangan alternatif IPAL, pemilihan alternatif melalui metode AHP, hingga perhitungan RAB sebagai dasar perencanaan implementasi IPAL. Gambar 1 menunjukkan peta wilayah lokasi penelitian. Penelitian dilakukan di tambak udang intensif CV X, Desa Campurejo, Kecamatan Panceng, Kabupaten Gresik, selama periode Januari hingga Juni 2024. Lokasi kolam IPAL dipilih pada bagian kolam tandon air, berdasarkan pertimbangan teknis dan efisiensi lahan. Gambar 2 menunjukkan *layout* lokasi penelitian.



Gambar 1. Peta wilayah lokasi penelitian



Gambar 2. Layout lokasi penelitian

2.2 Identifikasi masalah dan ide studi

Ide penelitian diperoleh melalui *gap analysis*, dengan membandingkan kondisi ideal pengelolaan limbah tambak, dimana harus menggunakan IPAL yang mampu menurunkan kadar pencemar sebelum air limbah dibuang ke lingkungan, dengan praktik aktual di lapangan yang menunjukkan bahwa limbah buangan masih dibuang langsung ke laut tanpa proses pengolahan. Selain itu, pendekatan *reuse* dipilih agar IPAL tidak hanya mengolah limbah, tetapi juga memungkinkan air olahan digunakan kembali untuk siklus budidaya berikutnya sehingga mengurangi ketergantungan terhadap air baru dan menekan biaya operasional tambak.

2.3 Tahap pengumpulan data

Tahap pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang diperlukan dalam perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) tambak udang vaname di CV X,

Kabupaten Gresik. Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan data sekunder yang diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara, serta studi literatur dari berbagai sumber. Pada studi ini, data primer yang dikumpulkan meliputi:

1. Sampling air limbah

   Data ini diperoleh melalui pengambilan sampel air limbah yang berasal dari saluran pembuangan tambak udang, baik pada saat kegiatan harian maupun saat panen. Sampel diambil dari tambak udang vaname milik CV X menggunakan metode *grab sampling* dengan mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang Air dan Air Limbah bagian 59: Metode Pengambilan Sampel Air Limbah.

2. Debit air limbah

   Debit dihitung berdasarkan volume air yang tertampung dalam satuan waktu menggunakan gelas ukur dan *stopwatch*, sesuai dengan metode manual pada saat proses pengurasan limbah berlangsung (antara pukul 12.00–04.00 WIB). Dimana debit air (Q) dapat dihitung berdasarkan volume air v dibagi dengan waktu (t) (lihat Persamaan 1).

   $$Q = \frac{v}{t} \quad (1)$$

   Keterangan :

   Q = Debit air limbah (m^3/hari)

   V = Kecepatan (m/hari)

   t = waktu detensi (hari)

3. Elevasi outlet dan badan air

   Pengukuran elevasi dilakukan untuk mengetahui perbedaan tinggi antara titik outlet saluran pembuangan dan badan air penerima limbah. Data ini digunakan sebagai dasar dalam perencanaan sistem pembuangan efluen dari IPAL.

4. Survei dan observasi lapangan

   Observasi langsung dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting lokasi tambak, jalur aliran limbah, posisi kolam tandon, serta aspek teknis dan ekonomis yang relevan dengan pemilihan lokasi IPAL. Selain itu, wawancara dengan pengelola tambak dilakukan untuk memahami SOP pembuangan limbah yang diterapkan di lapangan.

Selain data primer, data sekunder juga dikumpulkan untuk menunjang perencanaan IPAL. Data sekunder ini meliputi Jarak outlet dan badan air, Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kabupaten Gresik Tahun 2024, dan Literatur terkait unit IPAL.

2.4 Tahap analisis karakteristik limbah

Tahap ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik, kimia, dan biologi dari air limbah tambak udang yang berasal dari proses harian dan panen di lokasi penelitian. Analisis dilakukan terhadap berbagai parameter kualitas air yang menjadi indikator pencemaran, seperti nitrat, nitrit, ammonia, fosfat, BOD_5, COD, TSS, DO, dan pH. Adapun acuan metode analisis parameter kualitas air limbah tambak udang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter, Acuan dan Metode Analisis Sampel

No	Parameter	Acuan	Metode
1	Nitrat	SNI 6989.79:2011	Spektofotometri UV-visibel
2	Nitrit	SNI 06-6989.9:2004	Spektofotometri
3	Ammonia	SNI 06-6989.30:2005	Spektofotometer secara fenat
4	Phospat	SNI 06-6989.31:2005	Spektofotometer secara asam askorbat
5	COD	SNI 06-6989.15:2004	Refluks terbuka secara Titimetri
6	BOD_5	SNI 6989.72:2009	Titrimetri
7	TSS	SNI 06-6989.3:2004	Gravimetri
8	DO	SNI 7989.57:2008	Dengan DO Meter
9	pH	-	pH Meter

2.5 Perencanaan dan pemilihan alternatif IPAL melalui metode AHP

Dalam studi ini, tiga alternatif sistem IPAL disusun berdasarkan kriteria efisiensi pengolahan, ketersediaan lahan, serta estimasi biaya konstruksi dan operasional.

- Alternatif 1: Kolam ekualisasi → kolam pengendapan 1 → kolam aerobik → kolam pengendapan 2 → kolam adsorpsi karbon aktif.
- Alternatif 2: Kolam ekualisasi → dua unit biofilter anaerob → biofilter aerob → kolam pengendapan akhir.
- Alternatif 3: Kolam ekualisasi → aerated lagoon → kolam pengendapan → wetland alami.

Untuk menentukan alternatif terbaik, digunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). AHP adalah metode pengambilan keputusan multikriteria yang menggunakan sistem pembobotan dan pembandingan antar faktor penentu. Metode AHP diterapkan untuk menentukan alternatif sistem IPAL terbaik dengan mempertimbangkan enam kriteria utama,

yaitu: efisiensi pengolahan (30%), biaya investasi (10%), biaya operasional (20%), kebutuhan luas lahan (20%), kemudahan operasional (10%), dan dampak lingkungan (10%). Masing-masing unit dalam ketiga alternatif pengolahan diberi skor dalam rentang 1 hingga 5, kemudian dilakukan kalkulasi rata-rata dengan pembobotan berdasarkan bobot kriteria.

2.6 Penyusunan DED IPAL

Pada tahap ini dilakukan penyusunan *Detail Engineering Design* (DED) dengan output berupa gambar bangunan dan detail bangunan IPAL secara rinci. Tahapan penyusunan DED mencakup:

1. Kajian literatur untuk memahami referensi teknis terkait desain IPAL.
2. Pembuatan profil hidrolik, yaitu perhitungan aliran dan elevasi antar unit IPAL.
3. Perhitungan dimensi masing-masing unit IPAL.
4. Penyusunan draft IPAL beserta detail konstruksi unit pengolahannya.

DED ini menjadi acuan utama untuk pelaksanaan pembangunan fisik IPAL, dan harus memperhitungkan efisiensi pengolahan, kesesuaian dengan kondisi lahan, serta kelayakan konstruksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis debit air tambak udang vaname

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada tambak udang vaname secara optimal memerlukan informasi kuantitatif mengenai debit air limbah yang dihasilkan. Debit ini dihitung berdasarkan volume kolam budidaya, frekuensi pergantian air limbah yang dilakukan setiap hari, dan juga pembuangan air limbah pada masa panen. Analisis debit ini menjadi krusial karena akan menentukan dimensi unit-unit IPAL dan kapasitas pengolahan yang dibutuhkan setiap harinya. Berdasarkan data yang diperoleh pada studi ini, diketahui bahwa terdapat tujuh unit kolam budidaya dengan kedalaman rata-rata 1,5 meter dan luas bervariasi antara 1.500 hingga 3.300 m^2. Total volume air seluruh kolam adalah 21.981 m^3, yang menjadi dasar perhitungan debit limbah.

Sementara itu, berdasarkan hasil wawancara menunjukkan bahwa frekuensi pengurasan harian berada pada kisaran 5–15% dari total volume air, tergantung pada kualitas air dan kondisi cuaca. Namun, hasil observasi langsung di lapangan menunjukkan bahwa rerata volume air yang dibuang setiap hari adalah sekitar 6,6% dari total volume. Pembuangan dilakukan selama 5 jam per hari, dan pengukuran debit dilakukan dengan metode gravimetri

sederhana, yaitu mencatat waktu yang dibutuhkan untuk mengisi wadah 10 liter dari saluran pembuangan.

Debit Buangan Harian

- diketahui :

  Volume total tambak : 21.981 m^3

  Persentase pengurasan harian : 6,6%

  Durasi pembuangan per hari : 5 jam

- Volume Air yang dibuang setiap hari

  Volum dibuang : $Presentase\ Buangan \times Volume\ Total$

  : $6{,}6\% \times 21981m3 = 1450{,}7m3$

- Debit Air Limbah

  Debit : $\frac{volume\ dibuang}{durasi\ waktu\ pembuangan}$

  : $\frac{1450{,}7}{5\ jam\ (18000\ detik)}$

  : 0,0806 m^3/detik > 80,6 l/detik

  Namun dalam perencanaan ini diperlukan data debit per-hari, maka dari itu jumlah air limbah yang dibuang dibagi dengan 24 jam (86400 detik)

- Debit : $\frac{volume\ dibuang}{24\ jam\ (86400)}$

  : $\frac{1450{,}7}{86400}$

  : 0,01626 m3/detik = 16,26 l/detik

Debit Buangan Panen

Buangan Panen Diasumsikan menggunakan metode 1 dimana membuang air setengah dari volume total tambak udang yaitu 10990,5m^3, pada teknis tambak yang sudah berlaku setengah volume tambak ini umumnya dibuang dalam jangka waktu 24 jam atau kurang, namun dalam perencaan ini debit tersebut harus disesuaikan dengan debit buangan harian, maka dari itu perlu dihitung kebutuhan durasi yang sesuai untuk mendapatkan debit yang kurang lebih sama dengan debit buangan harian.

- Vpanen : $\frac{1}{2} \times 21981 = 10990{,}5\ m3$
- Penentuan durasi pembuangan

Durasi Pembuangan : $t = \frac{V}{Q}$

: $t = \frac{10990,5}{0,01626} = 675.675\ detik$

: 187,7 jam (7 Hari 19 jam)

Dari perthitungan tersebut maka didapatkan durasi untuk menyesuaikn debit pembuangan air limbah waktu panen adalah 187,7 jam, hal ini ini nantinya dilakukan 2 kali sebelum panen dan setelah panen untuk membuang seluruh volume total tambak udang. Seperti yang sudah dijelaskan di atas maka debit air limbah tambak yang dipakai untuk perencanaan adalah :

Debit air limbah(Q) : 1.405,7 m^3/hari

Debit air limbah rata-rata(Q_{ave}) : $\frac{1405,7\frac{m3}{hari}}{24\ jam}$ = 58,536 m^3/jam

= 0,01626 m^3/detik = 16,26 l/detik

3.2 Analisis karakteristik limbah

Kualitas dari Air Limbah yang diproduksi dari aktivitas kegiatan tambak udang sendiri dipengaruhi oleh berbagai sumber limbah yang dihasilkan dari kegiatan budi daya. Salah satu sumber utamanya adalah limbah cair, yang terdiri dari kotoran udang dan sisa pakan udang. Limbah ini mengandung banyak nitrogen dan karbohidrat (Aini & Parmi, 2022), kemudian Informasi kualitas air tersebut digunakan untuk menentukan beban pencemar, memilih teknologi pengolahan yang tepat, serta memastikan hasil akhir pengolahan memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Untuk menilai kualitas limbah, dilakukan pengujian laboratorium sebanyak tiga kali selama periode budidaya dari bulan November hingga Maret. Sampel diambil pada tiga waktu berbeda yang merepresentasikan fase pertengahan, akhir, dan masa panen budidaya udang vaname. Lokasi pengambilan sampel dilakukan di dua titik outlet pembuangan limbah yang telah ditentukan berdasarkan arah aliran efluen, dengan volume pengambilan 3 liter per titik setiap pengambilan. Hasil pengujian kualitas air limbah disajikan dalam Tabel 2.

Hasil uji laboratorium pada studi ini seperti ditunjukkan pada Tabel 2 mengindikasikan adanya penurunan konsentrasi beberapa parameter selama masa budidaya. Hal ini dapat dikaitkan dengan adanya penerapan metode panen parsial, yaitu pengambilan udang sebagian sebanyak 3–5 kali dalam satu siklus. Metode ini secara langsung mengurangi beban organik dalam air kolam dan berdampak pada penurunan nilai parameter. Namun demikian, untuk kepentingan perencanaan IPAL, pendekatan yang digunakan adalah mengambil nilai tertinggi dari masing-masing parameter selama siklus berlangsung. Pendekatan ini bertujuan untuk merancang sistem IPAL yang mampu menangani beban pencemar pada kondisi terburuk

(*worst-case scenario*), sehingga pengolahan limbah tetap efektif meskipun terjadi lonjakan konsentrasi pencemar.

Tabel 2. Kualitas air limbah tambak udang vaname

No	Parameter	Satuan	Baku mutu	Tengah	Akhir	Panen	Spesifikasi metode	Keterangan
1	BOD	mg/L	< 45	267	11	9	APHA, Section 5210- B, Ed 23 2017	Melebihi baku mutu
2	TSS	mg/L	<200	28	14	13	SNI 6989.3-2019	Melebihi baku mutu
3	Fosfat (PO_4)	mg/L	< 0,1	4	16	3,6	SNI 6989-31:2021	Melebihi baku mutu
4	Nitrat (NO_3)	mg/L	< 75	-	18	21	IKM/5.4.67/DLH-Kab Gresik	Sesuai
5	Nitrit (NO_2)	mg/L	< 2,5	-	2,9	2,9	SNI 06-6989.9-2004	Sesuai
6	H_2S	mg/L	< 0,03	-	0,0025	0,013	SNI 6989-70:2009	Sesuai
7	Amonia (NH_3)	mg/L	< 0,1	2	1,5	0,63	SNI 06-6989.30:2005	Melebihi baku mutu

(Sumber: Hasil uji laboratorium 2024 – 2025)

Berdasarkan tujuh parameter yang diuji pada studi ini, empat parameter dengan nilai melebihi nilai baku mutu dipilih sebagai parameter kunci, yaitu BOD, TSS, fosfat, dan amonia. Sementara itu, tiga parameter lain yaitu nitrat, nitrit, dan H_2S memperoleh hasil yang baik dengan nilai di bawah nilai baku mutu. Berdasarkan hasil tersebut, perencanaan IPAL tambak udang vaname di Kabupaten Gresik dibuat berdasarkan empat parameter nilai kualitas limbah, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai kualitas air limbah acuan perencanaan IPAL tambak udang vaname

No	Parameter	Satuan	Nilai tertinggi
1	BOD	mg/L	267
2	TSS	mg/L	28
3	Fosfat (PO_4)	mg/L	16
4	Amonia (NH_3)	mg/L	4

(Sumber: Hasil uji laboratorium, 2025)

3.3 Perencanaan dan pemilihan alternatif IPAL melalui metode AHP

Perencanaan IPAL pada tambak udang vaname intensif CV. X mempertimbangkan efektivitas teknis, efisiensi operasional, dan keberlanjutan lingkungan dengan pendekatan ekonomi sirkular. Tiga alternatif sistem pengolahan yang dianalisis meliputi: (1) biofilter aerobik dengan adsorpsi karbon aktif, (2) kombinasi biofilter anaerobik dan aerobik, serta (3) sistem *aerated lagoon* dengan *constructed wetland*. Ketiga alternatif ini dievaluasi berdasarkan

kemampuan menurunkan parameter utama pencemar, BOD, TSS, amonia (NH_3), dan fosfat (PO_4). Tabel 4 menunjukkan perbandingan nilai efisiensi dari ketiga alternatif.

Tabel 4. Perbandingan nilai efisiensi alternatif

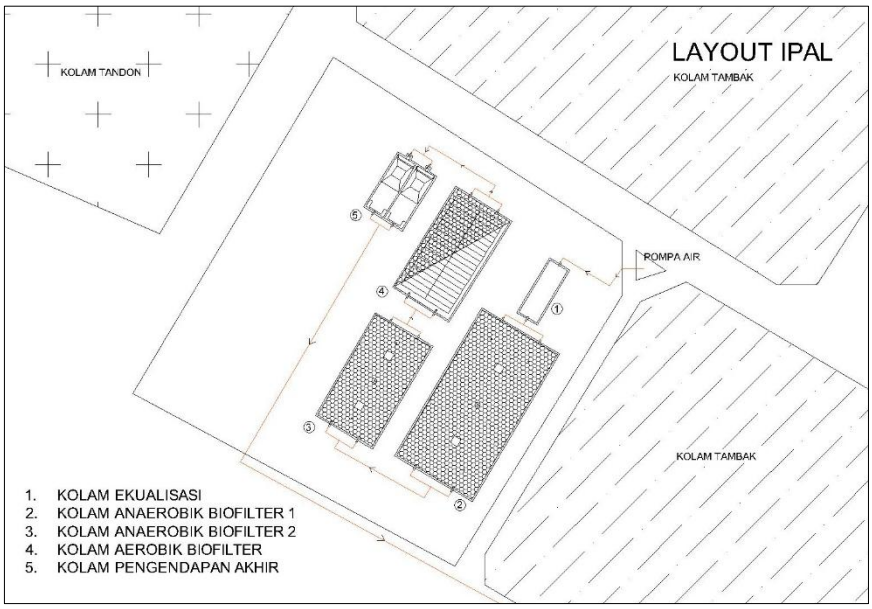
Alternatif 1											
Parameter	Nilai awal (mg/L)	Unit									
		Ekualisasi		Pengendapan 1		Aerobik		Pengendapan 2		Adsorbsi	
BOD	28	0%	28	50%	13,44	70%	0%	28	50%	13,44	70%
TSS	267	0%	267	10%	240,3	60%	0%	267	10%	240,3	60%
PO_4	4	0%	4	10%	3,6	95%	0%	4	10%	3,6	95%
NH_3	16	0%	16	71%	4,64	90%	0%	16	71%	4,64	90%
Alternatif 2											
Parameter	Nilai awal (mg/L)	Unit									
		Ekualisasi		Anaerobik		Anaerobik		Aerobik		Pengendapan 2	
BOD	28	0%	28	90%	2,8	90%	0%	28	90%	2,8	90%
TSS	267	0%	267	80%	53,4	80%	0%	267	80%	53,4	80%
PO_4	4	0%	4	44%	2,24	44%	0%	4	44%	2,24	44%
NH_3	16	0%	16	41%	9,488	41%	0%	16	41%	9,488	41%
Alternatif 3											
Parameter	Nilai awal (mg/L)	Unit									
		Ekualisasi		Pengendapan 1		*Aerated lagoon*		*Wetland*		Pengendapan 2	
BOD	28	0%	28	50%	14	80%	0%	28	50%	14	80%
TSS	267	0%	267	10%	240,3	80%	0%	267	10%	240,3	80%
PO_4	4	0%	4	10%	3,6	90%	0%	4	10%	3,6	90%
NH_3	16	0%	16	71%	4,64	70%	0%	16	71%	4,64	70%

Berdasarkan hasil analisis AHP, Alternatif 2, yaitu kombinasi biofilter anaerobik dan aerobik, memperoleh skor rata-rata tertinggi sebesar 18,70, menunjukkan performa terbaik secara teknis dan ekonomis untuk diterapkan pada sistem IPAL tambak udang intensif CV X. Dengan demikian, alternatif ini dipilih sebagai dasar perencanaan sistem IPAL yang sesuai dengan prinsip ekonomi sirkular dan standar baku mutu yang berlaku.

3.4 Perencanaan dan desain

Tahapan penyusunan *Detail Engineering Design* (DED) merupakan bagian krusial dalam proses perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), karena mencakup perancangan teknis secara rinci terhadap unit-unit pengolahan yang telah dipilih berdasarkan analisis kualitas air limbah dan evaluasi alternatif sistem. Pada penelitian ini, rancangan IPAL terdiri

atas enam unit utama, yaitu: kolam ekualisasi, kolam biofilter anaerobik 1, biofilter anaerobik 2, biofilter aerobik, kolam pengendapan akhir. Setiap unit dirancang berdasarkan debit air limbah sebesar 1.405,7 m^3/hari dengan waktu tinggal yang disesuaikan berdasarkan fungsi proses masing-masing unit. Pada rancangan ini, layout sistem IPAL ditata dengan mempertimbangkan efisiensi aliran gravitasi, kebutuhan luas lahan yang tersedia, serta kemudahan dalam proses operasional dan pemeliharaan. Gambar 3 menampilkan denah layout rancangan IPAL secara keseluruhan, yang menggambarkan jalur aliran air limbah dari inlet hingga ke unit desinfeksi akhir.



Gambar 3. Layout rancangan IPAL tambak udang vaname

Sementara itu, Tabel 5 menyajikan dimensi dan luas setiap unit IPAL yang telah dihitung berdasarkan volume olahan, waktu tinggal hidrolik (HRT), serta kedalaman efektif masing-masing unit. Total kebutuhan lahan untuk sistem IPAL ini diperkirakan mencapai 534,88 m^2, yang masih sesuai dengan ketersediaan lahan eksisting di lokasi tambak. Gambar 4 menampilkan visualisasi desain teknis masing-masing unit IPAL, mulai dari kolam ekualisasi hingga pengendapan akhir, yang disusun untuk memperjelas bentuk dan skala konstruksi pada saat implementasi di lapangan.

1. Unit kolam ekualisasi

Kolam ekualisasi menampung dan menstabilkan kuantitas dan kualitas aliran air limbah sebelum dikirim ke fasilitas pengolahan berikutnya. Berikut merupakan perhitungan untuk perencanaan Unit ekualisasi pada perencanaan IPAL Tambak Udang Vaname,

Direncanakan jumlah bak ekualisasi: 1 buah dengan Q tiap bak = 1405,7 m^3/hari 0,0162 m3/s. Waktu detensi

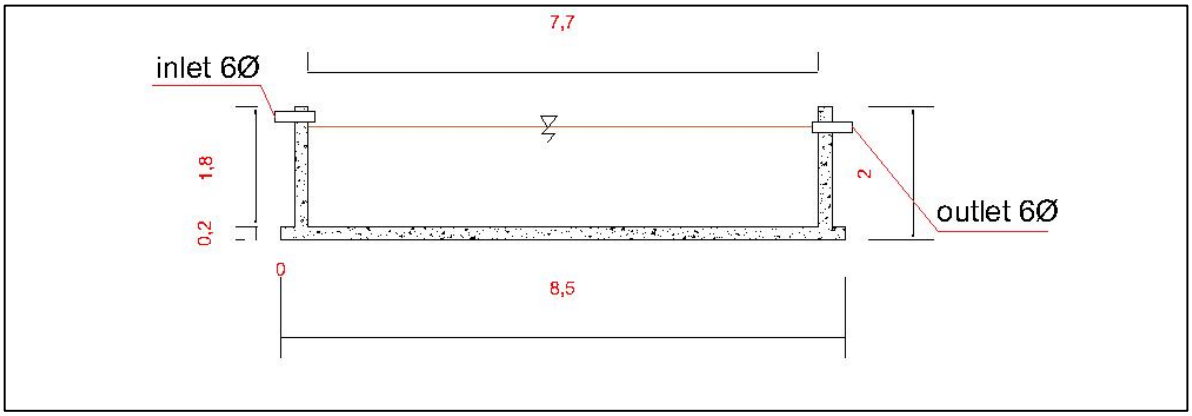
(td) = 0,5 jam = 30 menit = 1800 detik. Kedalaman (h) = 1,5 m. *Freeboard* = 0.3 m.

- Dimensi Kolam Ekualisasi :

  A : 20,02 m^2

  Panjang : 7,7 m

  Lebar : 2,6 m



Gambar 4. Potongan bak ekualisasi

Untuk mengalirkan air dari bak ekualisasi menuju pengolahan selanjutnya digunakan pompa submersible dengan perhitungan diameter pipa sebesar 50 mm. Pompa yang digunakan adalah pompa *submersible*.

2. Unit kolam anaerobik biofilter 1

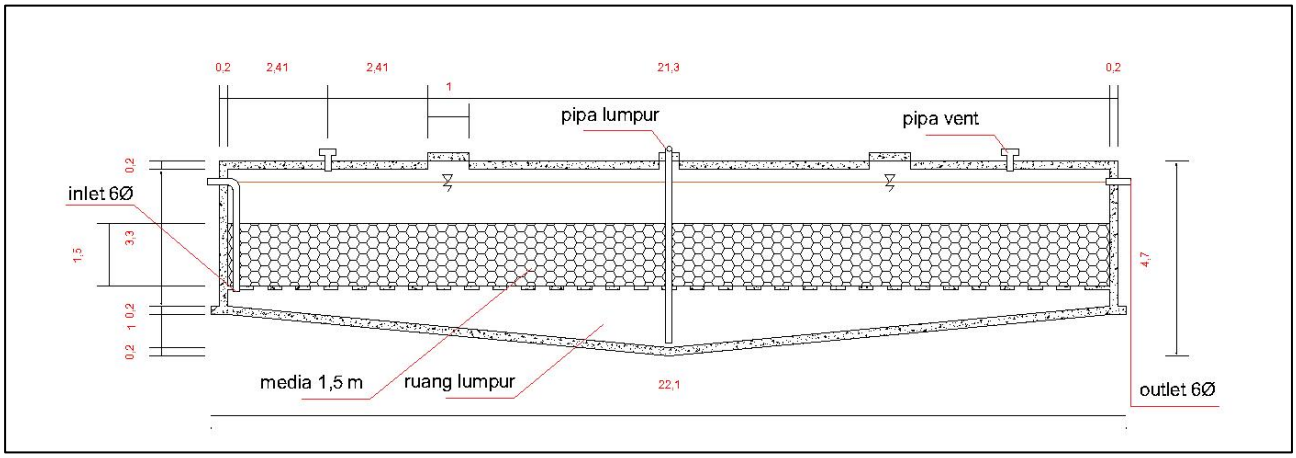
Proses anaerobik adalah metode pengolahan yang berlangsung tanpa kehadiran oksigen, di mana mikroorganisme menguraikan limbah tanpa perlu penambahan oksigen secara aktif. (Bastom, 2015). Unit biofilter anaerob berfungsi untuk menurunkan kadar bahan organik dalam air limbah, khususnya parameter BOD, melalui proses biokonversi oleh mikroorganisme anaerob. Proses ini berlangsung dalam media filter yang menyediakan permukaan luas untuk pertumbuhan biofilm, memungkinkan penguraian senyawa organik secara efisien dengan waktu tinggal tertentu., Direncanakan untuk mengolah debit air limbah sebesar 1.405,7 m^3/hari dengan waktu tinggal hidrolis sekitar 0,51 hari dengan tinggi kolam 3,0 m dan freeboard 0,3 m.

- Dimensi kolam:
Volume: 702,85 m^3
Luas: 234,3 m^2
Panjang: 30 m
Lebar: 8 m
Volume media: 346,18 m^3
Tinggi media: 1,5m

- Volume lumpur:
BebanBOD: 300,26 kg/hari
Berat lumpur: 36,03 kg/hari
Vol lumpur: 883,11 liter /hari
Beban TSS: 35,43 kg/hari
Berat lumpur: 21,25 kg/hari
Vol lumpur: 590,94 liter /hari
Total lumpur: 1,40 m^3/hari

- Dimensi ruang lumpur:
Panjang: 21,3
Lebar: 11 m
Tinggi: 1 m
Volume: 78,10 m^3

- Waktu pengurasan
Q pompa: 3,3 m^3/jam
V pipa: 1 m/s
D pipa: 40mm
Waktu pengurasan: 56 hari sekali



Gambar 5. Potongan kolam anaerobik 1 (tanpa skala)

3. Unit kolam anaerobik biofilter 2

Unit biofilter anaerob berfungsi untuk menurunkan kadar bahan organik dalam air limbah, khususnya parameter BOD, melalui proses biokonversi oleh mikroorganisme anaerob. Proses ini berlangsung dalam media filter yang menyediakan permukaan luas untuk pertumbuhan biofilm, memungkinkan penguraian senyawa organik secara efisien dengan waktu tinggal tertentu. Direncanakan untuk mengolah debit air limbah sebesar 1.405,7 m^3/hari dengan waktu tinggal hidrolis sekitar 0,25 hari dengan tinggi kolam 3,0 m dan *freeboard* 0,3 m.

- Dimensi Kolam:

Volume: 351,43 m^3

Luas: 117,14 m^2

Panjang: 15 m

Lebar: 8 m

Volume media: 147,13 m^3

Tinggi media: 1,3 m

- Volume lumpur:

BebanBOD: 60,05 kg/hari

Berat lumpur: 7,21 kg/hari

Vol lumpur: 176,62 liter /hari

Beban TSS: 3,54 kg/hari

Berat lumpur: 2,13 kg/hari

Vol lumpur: 52,09 liter /hari

Total lumpur: 0,23 m^3/hari

- Kebutuhan oksigen:

Panjang: 15

Lebar: 8

Tinggi: 1 m

Volume: 40 m^3

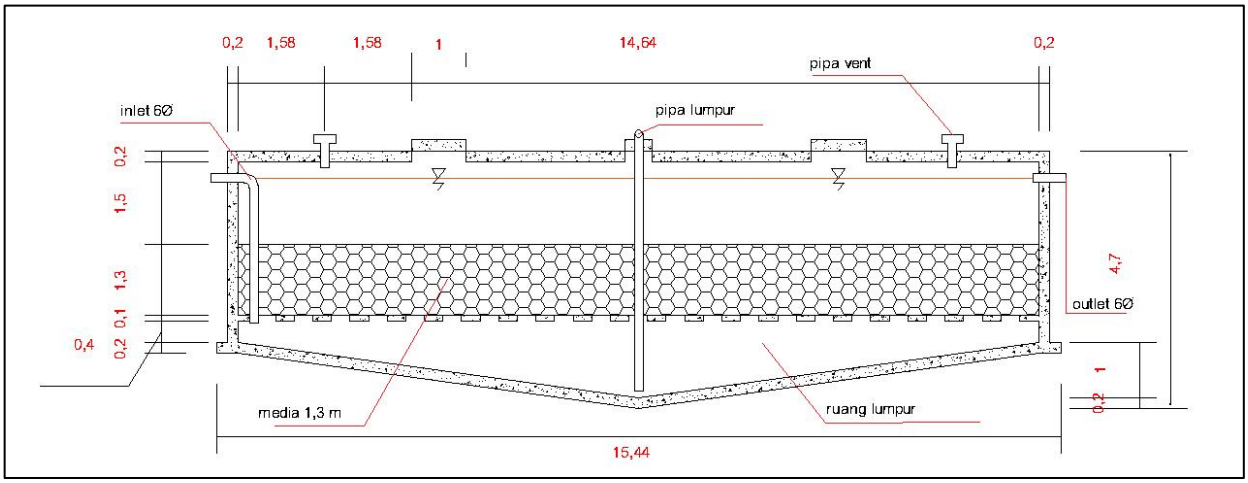
- Waktu pengurasan

Q pompa: 2,1 m^3/jam

V pipa: 1 m/s

D pipa: 30 mm

Waktu pengurasan: 120 hari sekali



Gambar 6. Potongan kolam anaerobik 2

4. Unit kolam aerobik biofilter

Kolam biofilter aerob berfungsi sebagai unit pengolahan biologis untuk mengurangi kadar bahan organik terlarut (BOD) melalui proses oksidasi oleh mikroorganisme aerob, Kondisi aerobik yang dilimpahi dengan bakteri nitrifikasi yang cukup akan menghasilkan kondisi air yang dianggap aman (Hastuti, 2011). Unit ini memanfaatkan media berpori sebagai tempat tumbuh biofilm dan suplai oksigen dari sistem aerasi agar proses degradasi berlangsung secara efisien. Direncanakan untuk mengolah debit air limbah sebesar 1.405,7 m^3/hari dengan waktu tinggal hidrolis sekitar 0,25 hari dengan tinggi kolam 3,0 m dan *freeboard* 0,3 m.

- Dimensi kolam:

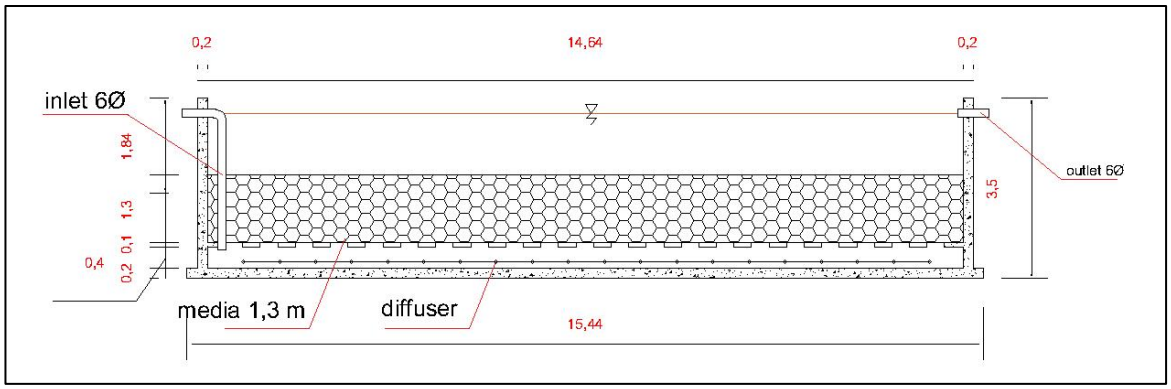
Volume: 351,43 m^3
Luas: 117,14 m^2
Panjang: 15 m
Lebar: 8 m
Volume media: 147,13 m^3
Tinggi media: 1,26 m

- Volume lumpur:

Beban BOD: 12 kg/hari
Berat lumpur: 1,44 kg/hari
Vol Lumpur: 35,32 liter /hari
Beban TSS: 0,28 kg/hari
Berat Lumpur: 2,13 kg/hari
Vol Lumpur: 52,09 liter /hari
Total Lumpur: 0,04 m^3/hari

- Kebutuhan oksigen

mBOD: 15,01 kg/hari
BOD *removal*: 12,01 kg/hari
Kebutuhan udara: 63,62 m^3/hari
mNH_3: 0,14 kg/hari
NH_3 *removal*: 0,13 kg/hari
Kebutuhan udara: 0,69 m^3/hari
Kebutuha udara aktual: 64,31 kg/hari
Kebutuhan *diffuser*: 161 buah



Gambar 7. Potongan kolam aerobik (tanpa skala)

5. Unit kolam pengendapan akhir

Kolam pengendapan tahap dua berfungsi sebagai unit klarifikasi lanjutan untuk menghilangkan sisa padatan tersuspensi dari air limbah setelah melalui tahapan pengolahan biologis. Proses ini penting untuk mencegah *carry-over* partikel ke tahapan akhir pengolahan dan menjaga stabilitas kualitas effluent, direncanakan unit pengendapan akhir terdiri dari 2 kolam dengan debit masing-masing kolam 0,008 m^3/detik.

- Dimensi per kolam:
  Volume: 43,93 m^3
  A *Surface*: 17,57 m^2
  Panjang: 7,80 m
  Lebar: 2,65 m

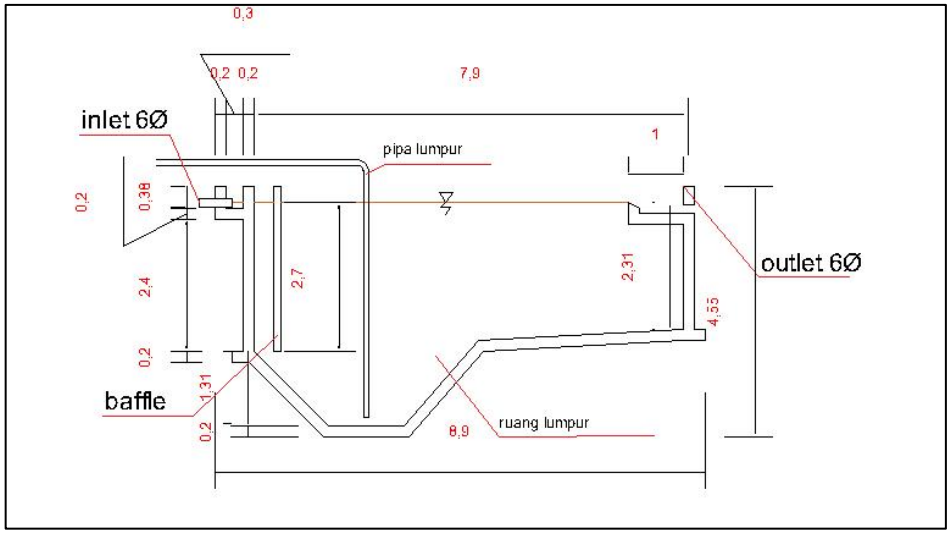
  Ruang Lumpur:
  Side depth: 2,50
  Slope: 5%
  (h) tinggi: 1,35 m
  Lebar: 2,65 m
  Volume: 5,66 m^3

- Saluran Pembagi:
  Debit tiap saluran: 8,13 L/detik
  Lebar *weir*: 0,3 m
  Tinggi air *weir*: 0,10
  Peforated baffe:
  Lebar: 2,65
  Tinggi (h): 2,50 m
  Diamerter lubang: 0,20 m
  Luas: 6,61
  Jumlah Lubang: 84,26 Lubang

  Debit: 0,000097 m^3/detik
  V air: 0,0031 m/s
  R: 0,05 m
  NRe: 191,94
  NFr: 1,9 x 10^{-5}

- Zona outlet:
  Total panjang *weir*: 2,81 m
  Jumlah *plate*: 2
  Total *V-Notch*: 18 *notch*

  Pompa lumpur:
  Q: 0,4 m^3/jam
  T *pumping*: 18,35 jam
  V pipa: 1 m/s
  A: 0,000116 m^2
  D pipa: 15 mm
  Head pompa: 4,6 m



Gambar 8. Potongan kolam pengendapan akhir

Tabel 5. Rekap dimensi dan luas IPAL

Unit IPAL	Panjang	Lebar	Total Tinggi	Luas
Ekualisasi	19 m	6,5 m	1,8 m	20,02 m^2
Pengendapan 1	19,5 m	6,5 m	1,8 m	234,3 m^2
Anaerobik	30 m	8 m	3,3 m	120 m^2
Aerobik	19 m	6,5 m	3,3 m	120 m^2
Pengendapan 2	19,5 m	6,5 m	1,8 m	40,56 m^2
Desinfeksi UV	1,1 m	0,36 m	1,3 m	534,88 m^2
Total Luas				534,88 m^2

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kegiatan budidaya udang vaname intensif di CV X menghasilkan limbah cair dengan kandungan pencemar yang melebihi baku mutu, terutama pada parameter BOD_5, TSS, fosfat, dan H_2S. Untuk merespons kondisi tersebut, dirancang sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) menggunakan pendekatan multi-unit, terdiri dari ekualisasi, biofilter anaerobik bertingkat, biofilter aerobik, dan pengendapan. Berdasarkan analisis AHP terhadap beberapa alternatif sistem, dipilih kombinasi unit pengolahan yang memberikan efisiensi optimal dalam menurunkan kadar pencemar. Hasil perhitungan neraca massa dan debit lumpur juga menunjukkan keberhasilan sistem dalam mengelola pencemar dan memproduksi lumpur dengan volume yang masih dapat dikendalikan.

DAFTAR PUSTAKA

Aini, M., Parmi, H. J. (2022). Analisis tingkat pencemaran tambak udang di sekitar perairan laut Desa Padak Guar Kecamatan Sambelia Kabupaten Lombok Timur. AQUACOASTMARINE*: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 1(2), 67–75. https://doi.org/10.32734/jafs.v1i2.9025

Basri, A. D., Asmar, A. R., Nurjannah, S. T., Aksham, M. (2025). Penyelesaian kasus pencemaran limbah tambak udang dalam mewujudkan keberlanjutan perekonomian dan kesehatan masyarakat (Studi Desa Borong Tala Kabupaten Jeneponto). *Iqtishaduna: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Hukum Ekonomi Syari'ah*, *6*(2), 372–382. https://doi.org/10.24252/iqtishaduna.vi.52408

Bastom, B. M. (2015). Kajian efek aerasi pada kinerja biofilter aerob dengan media bioball untuk pengolahan air limbah budidaya tambak udang. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Dauda A. B., Ajadi A., Tola-Fabunmi A. S., Akinwole A. O. (2019). Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems*. Aquaculture and Fisheries*, *4*(3), 81–88. https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002

Fahrur, M., Undu, M. C., Syah, R. (2016). Performa instalasi pengolah air limbah tambak udang vaname superintensif. Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur, hlm. 285-293. https://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/fita/article/view/1819

Fajri, F. E. (2009). Struktur komunitas fitoplankton serta keterkaitannya dengan kualitas perairan di lingkungan tambak udang intensif. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB. Bogor.

Hariyanto, Y. R. D., Noerhayati, E., Rahmawati, A. (2024). Studi perencanaan instalasi pengolahan air limbah tambak udang intensif di Kabupaten Probolinggo. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 14(1), 731-740.

Hastuti, Y. P. (2011). Nitrifikasi dan denitrifikasi di tambak. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, *10*(1), 89–98.

Nguyen, H. V., Maeda, M. (2015), Nutrient mass balances in intensive shrimp ponds with a sludge removal regime: A case study in The Tam Giang Lagoon, Central Vietnam. *Journal of Agricultural Science and Technology A and B* & *Hue University Journal of Science*, 5, 538-547. https://doi.org/10.17265/2161-6256/2015.12.013

Prasetiyono, E., Nirmala, K., Supriyono, E., Sukenda, Hasstuti, Y. P. (2023). Potensi pemanfaatan limbah tambak udang vaname (litopenaeus vannamei) untuk budidaya kerang darah (anadara granosa,

linneus 1758). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *21*(2), 420–430. https://doi.org/10.14710/jil.21.2.420-430

Preston, N. P., Jackson, C. J., Thompson, P., Austin, M., Burford, M. A., Rothlisberg, P. (2001). Prawn farm effluent: composition, origin and treatment. Project No. 95/162. *Fisheries Reaserach and Reaserach and Development Corporation*, Cleveland, OH.

Saktiawan, Y., Rupiwardani, I. (2021). Dampak budidaya tambak udang vanamei terhadap estimasi beban limbah perairan di desa wonocoyo kabupaten trenggalek. Seminar Nasional Hasil Riset (Ciastech), Ciastech, 609–614. https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/2459543

Sintawati, D., Zuhairo, H., Latifah, N. N., Rahayu, R. (2024). Analisis dampak tambak udang pada ekosistem laut di Kebumen. *Jurnal Ekologi, Masyarakat dan Sains*, *5*(1), 109–113. https://doi.org/10.55448/cqjbhv46

Relingga, E., Utami, A., Irawan, A. B. (2024). Rancangan desain IPAL untuk pengendalian pencemaran air sungai akibat limbah tambak udang vaname di Kalurahan Jangkaran, Kabupaten Kulon Progo, DIY. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian SATU BUMI*, 5(1), 117–124.

Ugroseno, W., Bisri, M., Fidari, J. S., & Lufira, R. D. (2019). Studi rancangan instalasi pengolahan air limbah tambak intensif udang vannamei Kota Probolinggo. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan*, *3*(1), 1–9.