© 2026 Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP
JURNAL ILMU LINGKUNGAN
Volume 24 Issue 6 (2026) : 1418-1426 *ISSN 1829-8907*

Evaluasi Kinerja Sistem Lumpur Aktif, *Bioball*, dan Hibrid dalam Pengolahan Air Limbah Tambak Udang

Raihan Beta Saputri[1], V. Irene Meitiniarti[1*], dan Chairul Anwar[2]

[1]Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia; e-mail: 412022004@student.uksw.edu
[2]PT Nusa Alam Kreasindo, Kecamatan Argomulyo, Kota Salatiga, Jawa Tengah, Indonesia

ABSTRAK

Aktivitas budidaya udang intensif menghasilkan air limbah dengan konsentrasi parameter pencemar, seperti COD, TSS, amonia, dan fosfat yang melebihi baku mutu sehingga berpotensi mencemari lingkungan perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik awal air limbah tambak udang serta mengevaluasi efektivitas sistem pengolahan biologi secara *batch* menggunakan sistem pengolahan lumpur aktif (resin *Greenbio-1103*), biofilm media *bioball*, dan sistem hibrid dalam menurunkan kadar polutan. Metode eksperimen dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan variasi media pengolahan dan waktu tinggal (0 hingga 8 hari). Parameter fisik berupa suhu, TSS dan kimia berupa pH, COD, amonia, fosfat, nitrat diukur secara berkala. Hasil penelitian menunjukkan adanya interaksi signifikan ($p < 0,05$) antara jenis media dan waktu tinggal. Pengolahan selama 8 hari menggunakan media *bioball* memberikan efisiensi penurunan tertinggi, di mana amonia (0,07 mg/L), fosfat (0,07 mg/L), dan nitrat (7,07 mg/L) berhasil diturunkan hingga memenuhi baku mutu KepMen KP No. 28 Tahun 2004. Namun, nilai COD (602,89 mg/L) dan TSS masih berada di atas batas baku mutu. Pengolahan biologi dengan *bioball* efektif menurunkan konsentrasi pencemar, tetapi pengolahan biologi tunggal belum cukup optimal untuk menurunkan COD dan TSS sehingga memerlukan kombinasi dengan pengolahan fisik atau kimia lanjutan.

***Kata kunci*:** Air Limbah, Bioball, Biofilm, Lumpur Aktif, Tambak Udang

ABSTRACT

Intensive shrimp farming generates wastewater with concentrations of pollutants such as COD, TSS, ammonia, and phosphate that exceed quality standards, posing a potential threat to aquatic environments. This study aims to determine the initial characteristics of shrimp farm wastewater and to evaluate the effectiveness of a batch biological treatment system using an activated sludge system (Greenbio-1103 resin), bioball media, and a hybrid system in reducing pollutant levels. The experimental method employed a factorial Complete Randomized Design (CRD) with variations in treatment media and retention time (0 to 8 days). Physical parameters—including temperature and TSS and chemical parameters, including pH, COD, ammonia, phosphate, and nitrate, were measured periodically. The results indicated a significant interaction ($p < 0.05$) between media type and retention time. Treatment for 8 days using bioball media yielded the highest reduction efficiency, with ammonia (0.07 mg/L), phosphate (0.07 mg/L), and nitrate (7.07 mg/L) successfully reduced to meet the quality standards set by Ministerial Decree No. 28 of 2004. However, the COD (602.89 mg/L) and TSS values remained above the quality standards. Biological treatment with bioballs is effective at reducing pollutant concentrations, but biological treatment alone is not yet optimal for reducing COD and TSS, thus requiring a combination with subsequent physical or chemical treatment.

***Keywords*:** *Activated Sludge, Bioball, Biofilm, Shrimp Pond, Wastewater*

Citation: Saputri, R. B., Meitiniarti, V. I., dan Anwar, C. (2026). Evaluasi Kinerja Sistem Lumpur Aktif, *Bioball*, dan Hibrid dalam Pengolahan Air Limbah Tambak Udang. Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(6), 1418-1426, doi:10.14710/jil.24.6.1418-1426

1. PENDAHULUAN

Budidaya udang menjadi salah satu sektor unggulan dalam perikanan yang berperan penting dalam meningkatkan perekonomian. Jenis udang yang banyak di budidayakan dalam tambak adalah udang vaname (*Litopeneaus vannamei*). Udang vaname banyak dibudidayakan karena sistem budidayanya yang mudah, serta udang dapat hidup dalam air dengan salinitas rendah dan memiliki harga jual yang tinggi (Nawir *et al*., 2023). Di Jawa Tengah, khususnya daerah pesisir Kendal, terdapat beberapa tambak udang, salah satunya adalah tambak udang Y. Tambak udang ini memiliki luas total sekitar 2 hektar dengan 8 kolam tambak yang aktif dan 2 kolam penampungan air limbah tambak udang. Namun, tambak tersebut belum memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Air sisa budidaya hanya diproses dengan sedimentasi sebelum dibuang ke lingkungan perairan.

Aktivitas budidaya udang yang intensif dapat menghasilkan air limbah dengan kadar polutan yang cukup tinggi. Menurut Arfiati *et al* (2021), setelah akhir masa budidaya udang, air limbah umumnya

memiliki kandungan bahan organik total hingga mencapai 87,74 mg/L. Air limbah dari budidaya udang dapat mengakibatkan kerusakan pada lingkungan jika tidak mengalami pengolahan sebelum dibuang ke badan air. Konsentrasi COD, TSS dan amonia yang tinggi dapat menyebabkan kondisi septik dan anoksik yang berdampak pada peningkatan kematian organanisme perairan, munculnya bau busuk, serta memicu terjadinya proses eutrofikasi pada peraian (Sumiyati *et al*., 2023). Oleh karena itu, pengolahan air limbah perlu dilakukan untuk mengurangi kandungan pencemar.

Pengolahan air limbah diperlukan agar efluen yang dibuang ke lingkungan memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Proses pengolahan secara biologi dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi pencemar air limbah tambak udang. Proses ini melibatkan melibatkan peran mikoorganisme untuk mengolah bahan organik menjadi bentuk sederhana yang tidak berbahaya, misalnya menggunakan lumpur aktif atau biofilm. Namun, pengolahan air limbah menggunakan lumpur aktif saja masih memiliki kekurangan. Pada penelitian Wahyuni *et al* (2014) dilaporkan bahwa pengolahan air limbah menggunakan lumpur aktif secara aerob dapat menurunkan kadar amonia, tetapi kadarnya masih berada diatas baku mutu. Oleh karena itu, diasumsikan bahwa pengolahan air limbah dengan sistem pengolahan biofilm dan hibrid lumpur aktif-biofilm dapat menjadi alternatif dalam menurunkan polutan.

Biofilm adalah sekelompok mikroorganisme yang melekat pada permukaan dan tertanam dalam matriks ekstraseluler (Weber *et al*., 2023). Agar biofilm dapat menempel pada permukaan, perlu dilakukan *seeding*. *Seeding* merupakan proses menumbuhkan mikroorganisme sebelum digunakan untuk mengolah air limbah secara biologi (Mukhtar *et al*., 2017). *Seeding* dilakukan dengan menambahkan bakteri ke dalam media biofilter yang telah diisi air, kemudian diaerasi hingga media tertutup oleh biofilm. Salah satu media yang digunakan sebagai tempat melekatnya biofilm yaitu *bioball*. Dalam penelitian ini, perlakuan pengolahan air limbah yaitu dilakukan melalui sistem lumpur aktif, biofilm dengan media biofilter *bioball*, serta hibrid dilakukan melaui kombinasi antara lumpur aktif dan biofilm dengan media biofilter *bioball*.

Media pelekatan biofilm yang berbeda juga dapat menghasilkan respons dari mikroorganisme yang berbeda-beda. Salah satu respons yang dapat diamati yaitu pembentukan filamen dan flok pada populasi mikroorganisme dalam media pelekatannya. Populasi mikroorganisme dapat berpengaruh terhadap fungsi, kinerja, serta stabilitas dalam proses pengolahan secara biologis (Guo *et al*., 2017). Dalam penelitian ini bakteri yang digunakan berasal dari resin *Seedling Bacteria Greenbio*-1103. *Greenbio*-1130 adalah jenis resin bakteri yang bersifat bioaktif dan didalamnya berisi konsorsium bakteri dan biokarier dalam bentuk semipadat dan padat (Anwar *et al*., 2023). Bakteri dalam *Greenbio*-1103 memiliki kemampuan dalam mendegradasi polutan organik. Oleh karena itu, pembentukan filamen dan flok mikroorganisme *Greenbio*-1103 juga akan dianalisis untuk mengetahui efektivitasnya.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui karakterisasi awal pada parameter fisik dan kimia air limbah tambak udang vaname. Penelitian ini juga bertujuan mengetahui perbandingan efektivitas dari perlakuan kontrol, sistem *biofilm* media *bioball*, lumpur aktif, dan hibrid dalam menurunkan parameter pencemar air limbah tambak udang.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan April hingga Juni 2025. Penelitian dilakukan di Laboratorium Limbah, Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya wacana dan Laboratorium PT. Nusa Alam Kreasindo, Permata Agrosari No. 1 – 3, Agrobogo, Randuacir, Salatiga.

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah galon untuk wadah pengolahan air limbah sistem *batch*, akuarium, blower aerasi (LP-100), diffuser (batu aerasi pori halus), termometer, pH meter, DO meter, alat gelas, lemari inkubasi, *pillius ball*, kuvet, *vortex*, blender, oven, timbangan analitik, *magnetic stirer*, dan spektrofotometer UV-VIS.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampel air limbah tambak udang vaname yang diambil dari kolam penampungan air limbah tambak udang, akuades, *alummunium foil*, kertas roti, resin *bacteria Greenbio* 1103, *bioball* jenis rambutan dengan diameter ±3–4 cm dan luas permukaan spesifik antara 200–300 m^2/m^3 (Gambar 1), kertas saring E-D Scientific Specialities grade 161 (VWR brand grade 161) dengan diameter pori 1,1 µm, reagen untuk analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD), reagen untuk analisis amonia, reagen untuk analisis fosfat, serta reagen untuk analisis nitrat.



Gambar 1. Media Biofilter *Bioball*

2.3. Rancangan Penelitian

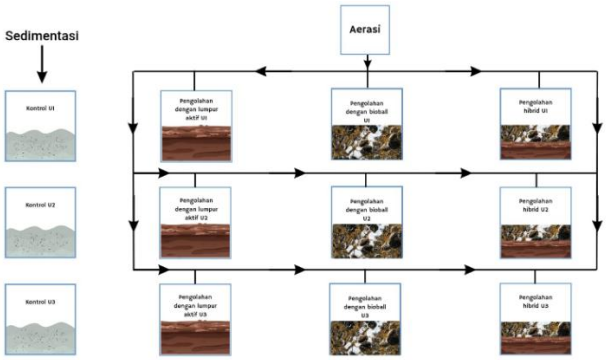
Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial (2 faktor). Variabel-variabel dalam penelitian ini meliputi variabel bebas berupa jenis media dan lama waktu pengolahan. Jenis media/sistem pegolahan biologi yang digunakan yaitu, kontrol (sedimentasi), Lumpur Aktif dari resin *bacteria Greenbio* 1103, biofilm dengan media *bioball*,

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

dan sistem hybrid (lumpur aktif + *bioball*). Sedangkan lama waktu pengolahan yaitu 0 hari (H0), 2 hari (H2), 4 hari (H4), 6 hari (H6), dan 8 hari (H8). Pengolahan air limbah dilakukan secara *batch* selama total waktu 8 hari (192 jam). Interval pengambilan sampel dilakukan setiap 2 hari sekali (setiap 48 jam). Sampel yang diambil ditentukan karakter fisik dan kimia (variabel terikat) berupa, suhu, TSS, pH, COD, amonia, fosfat, dan nitrat. Pengukuran parameter suhu dan pH dilakukan langsung di lokasi pengambilan sampel, sedangkan pengukuran parameter TSS, COD, dan amonia dilakukan di Laboratorium Limbah, Fakultas Biologi, UKSW.

2.4. Prosedur Penelitian

Sampel air limbah yang sebelumnya telah dikarakterisasi diolah menggunakan sistem *batch* dengan 4 perlakuan yaitu, kontrol (hanya didiamkan/sedimentasi), lumpur aktif dari resin *bacteria Greenbio* 1103, biofilm dengan media biofilter *bioball*, dan sistem hibrid lumpur aktif dengan biofilter *bioball*. Skema perlakuan pengolahan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Skema Pengolahan Air Limbah Sistem *Batch*

Sistem pengolahan air limbah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sistem *batch* dengan air limbah yang berada dalam satu tempat tanpa ada aliran limbah masuk dan keluar. Proses aerasi dilakukan secara kontinu 24 jam menggunakan blower LP-100. Udara dari blower utama dialirkan menuju pipa pembagi yang terhubung dengan selang aerasi ke masing-masing unit reaktor. Penelitian ini menggunakan total 12 unit reaktor percobaan *batch* yang terdiri dari 4 kelompok perlakuan dengan 3 reaktor independen sebagai ulangan untuk setiap perlakuan (Gambar 2). Pengambilan sampel air limbah dari setiap unit reaktor dilakukan secara berkala pada setiap taraf waktu (H0 hingga H8), sehingga menghasilkan 60 unit sampel analisis.

2.4.1. *Seeding* Bakteri dan Aklimatisasi

Proses *Seeding* dilakukan dengan menambahkan resin bakteri (padatan) sebanyak 10 kg dan air sebanyak 12 L dalam tempat berbentuk kerucut. Kemudian dilakukan aerasi dan ditambahkan nutrisi sebanyak 600 mL pada masing-masing wadah. Proses ini dilakukan selama dua minggu. Setelah itu, pertumbuhan bakteri diamati menggunakan mikroskop untuk mengetahui pembentukan flok. Apabila flok sudah terbentuk, maka dilanjutkan tahap berikutnya. Pada wadah pertama, resin bakteri yang telah tumbuh dilekatkan pada media *bioball*. Pada wadah kedua, resin bakteri yang telah tumbuh digunakan sebagai lumpur aktif.

Setelah bakteri melekat pada media, dilakukan proses aklimatisasi. Pada penelitian ini, proses aklimatisasi dilakukan selama dua hari menggunakan campuran dengan memindahkan air limbah dan air keran dengan perbandingan 1:1 (volume total 6L). Aklimatisasi dilakukan agar bakteri yang melekat pada media *bioball* maupun bakteri sebagai lumpur aktif dapat beradaptasi dengan air limbah. Setelah aklimatisasi, media pengolahan dapat digunakan untuk mengolah air limbah.

2.4.2. Penentuan karakter fisik air limbah

a. Suhu (SNI 06-6989.23-2005)

Pengukuran suhu pada sampel air limbah dilakukan secara langsung di lokasi pengambilan sampel serta pada hari terakhir pengolahan air limbah (H8). Pengukuran suhu dilakukan sesuai metode yang telah ditetapkan dalam SNI 06-6989.23-2005 tentang Cara Uji Suhu dengan Termometer.

b. Kadar TSS (SNI 06-6989.3: 2004)

Pengujian TSS dilakukan secara gravimetri menggunakan kertas saring (pori 1,1 µm) dan dikeringkan pada suhu 103°C–105°C hingga diperoleh berat konstan sesuai dengan metode yang ditetapkan dalam SNI 06-6989.3-2004.

2.4.3. Penentuan karakter kimia air limbah

a. pH

Pengukuran pH pada sampel air limbah dilakukan secara langsung di lokasi pengambilan sampel air limbah tambak udang.

b. Kadar COD (SNI 6989.2: 2009)

Pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD) dilakukan melalui metode refluks tertutup secara spektrofotometri pada panjang gelombang λ600 nm sesuai dengan metode yang ditetapkan dalam SNI 6989.2: 2009.

c. Kadar amonia

Pengukuran amonia dilakukan dengan metode nessler (Abdul-Rahaman, 2012). Sebanyak 50 mL sampel air limbah dimasukkan dalam Erlenmeyer, lalu ditambahkan 2 tetes garam Rochelle dan dihomogenkan. Setelah homogen, ditambahkan sebanyak 2 mL nessler dan inkubasi selama 15 menit. Setelah 15 menit larutan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-VIS dengan panjang gelombang λ425 nm. Absorbansi sampel dikonversikan ke kadar amonia menggunakan kurva standar amonia (konsentrasi 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 3; 5; 7; 9; 11; 13; 15; dan 17 mg/L).

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

d. Kadar Fosfat (SNI 06-6989.31: 2005)

Pengukuran kadar fosfat dilakukan secara spektrofotometri menggunakan reagen asam-molibdat (reagen kombinasi) pada panjang gelombang λ880 nm sesuai dengan metode yang ditetapkan dalam SNI 06-6989.31: 2005.

e. Kadar Nitrat

Pengukuran nitrat dilakukan dengan metode asam salisilat (Adonadaga, 2014). Sebanyak 1,5 mL sampel air limbah dimasukkan dalam 3 tabung reaksi dan setiap tabung reaksi diisi sebanyak 0,5 mL. Kemudian, setiap tabung reaksi ditambahkan dengan asam salisilat 5% sebanyak 0,5 mL dan diinkubasi selama 30 menit. Setelah diinkubasi, masing-masing tabung reaksi diberi NaOH sebanyak 5 mL dan diinkubasi selama 1 jam. Setelah 1 jam diinkubasi, kadar nitrat dalam sampel air limbah diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang λ410 nm. Absorbansi sampel dikonversikan ke kadar nitrat menggunakan kurva standar fosfat (konsentrasi 0; 10; 30; 50; 80; 100 mg/L).

2.5. Pengamatan mikroskopik pembentukan flok

Pembentukan flok pada resin bakteri pada media *bioball* dan lumpur aktif diamati secara mikroskopis. Pengamatan dilakukan pada tahap *seeding* dan pada hari ke-8 pengolahan air limbah. Sampel dari masing-masing perlakuan dialmbil, lalu diletakkan dalam gelas preparat dan ditutup dengan gelas penutup. Setelah itu, preparat diamati dengan mikroskop untuk melihat pembentukan flok.

2.6. Analisis data

Hasil yang diperoleh dalam penelitian kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak aplikasi IBM SPSS Statistik. Sebelum data dianalisis, dilakukan uji Homogenitas dan Normalitas. Kemudian, data yang diperoleh dalam penelitian dianalisis menggunakan uji *Two Way Anova* dan Uji Tukey dengan α 5% (0,05).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Air Limbah

Pengujian karakteristik air limbah dilakukan sebelum dan sesudah pengolahan untuk mengetahui kualitas air limbah. Hasil karakterisasi awal pada air limbah tambak udang X menunjukkan bahwa parameter COD, amonia, fosfat, dan TSS masih melebihi standar baku mutu yang ditetapkan. Sedangkan parameter suhu, pH, dan nitrat menunjukkan hasil yang sudah memenuhi standar baku mutu air limbah tambak udang. Setelah dilakukan pengolahan, konsentrasi pencemar mengalami penurunan seperti hasil yang didapatkan pada **Tabel 1**.

Hasil pengukuran parameter fisik suhu air limbah tambak udang adalah 31°C di siang hari dan termasuk dalam rentang normal. Hal ini sejalan dengan pendapat Supito (2017) yang mengatakan bahwa suhu air limbah tambak udang idealnya berkisar antara 28–32°C. TSS air limbah tambak udang sebelum dan sesudah dilakukan pengolahan menunjukkan hasil diatas baku mutu yang ditetapkan. TSS (*Total Solid Suspended*) merupakan suatu pengukuran padatan berukuran lebih dari 1 μm yang didasarkan pada jumlah padatan tersuspensi dalam sampel limbah cair dengan volume tertentu (Yanti *et al*., 2023). Konsentrasi TSS awal sebesar 980 mg/L dan mengalami penurunan setelah pengolahan. Konsentrasi TSS awal yang tinggi sejalan dengan penelitian Sanjaya *et al* (2025) yang menunjukkan bahwa konsentrasi awal TSS air limbah tambak udang dapat mencapai 1723,33 mg/L. Meskipun mengalami penurunan setelah pengolahan, konsentrasi TSS pada setiap perlakuan masih berada di atas baku mutu yang ditetapkan. Hal ini terjadi karena pengolahan yang dilakukan tidak menggunakan *pretreatment* sedimentasi sehingga efisiensi penurunan TSS kurang optimal. Menurut Subagyo *et al* (2022) sedimentasi dapat berpengaruh terhadap penurunan TSS karena adanya gaya gravitasi yang menyebabkan padatan-padatan pada air limbah turun ke dasar bak sedimentasi dan terpisah dari air limbah yang akan diolah.

Potensi hidrogen (pH) merupakan ukuran kuantitatif yang digunakan untuk mengukur tingkat asam atau basa suatu larutan cair berdasarkan dari log negatif dari konsentrasi ion hidrogen (Winoto *et al*., 2023). Nilai pH dalam air sangat bervariasi dan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu dan konsentrasi oksigen terlarut dalam air. Hasil pengukuran pH pada air limbah tambak udang, yaitu 8 dan berada di rentang baku mutu yang ditetapkan KepMen Kelautan dan Perikanan No. 28 Tahun 2004. Setelah pengolahan, nilai pH air limbah tidak berubah. Hal ini diduga karena air limbah tambak udang memiliki kapasitas penyangga alami, seperti ion karbonat dan bikarbonat yang berperan sebagai *buffer* dalam membantu menjaga keseimbangan pH (Rocha *et al*., 2024).

Tabel 1. Hasil Uji Karakeristik Air Limbah Tambak Udang

Parameter	Konsentrasi Awal (H0)	Konsentrasi Akhir (H8)				Baku Mutu
		K	LA	BB	LA+BB	
Suhu (°C)	31	28	28	28	28	25 – 31
pH (mg/L)	8	8	8	8	8	6 – 9*
TSS (mg/L)	980	730	740	580	630	≤200*
COD (mg/L)	1402,9	1097,3	765,1	602,9	709,5	100 – 250#
Amonia (mg/L)	15,16	8,3	1,95	0,07	0,08	<0,1*
Nitrat (mg/L)	1,05	1,89	2,26	7,07	4,73	<75*
Fosfat (mg/L)	1,27	1,03	0,102	0,07	0,09	<0,1*

*Keterangan: *Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 28 Tahun 2004 tentang Pedoman Umum Budidaya Tambak Udang. #PERDA JATENG No. 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk Usaha dan/atau Kegiatan yang Belum Ditetapkan Baku Mutunya*

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

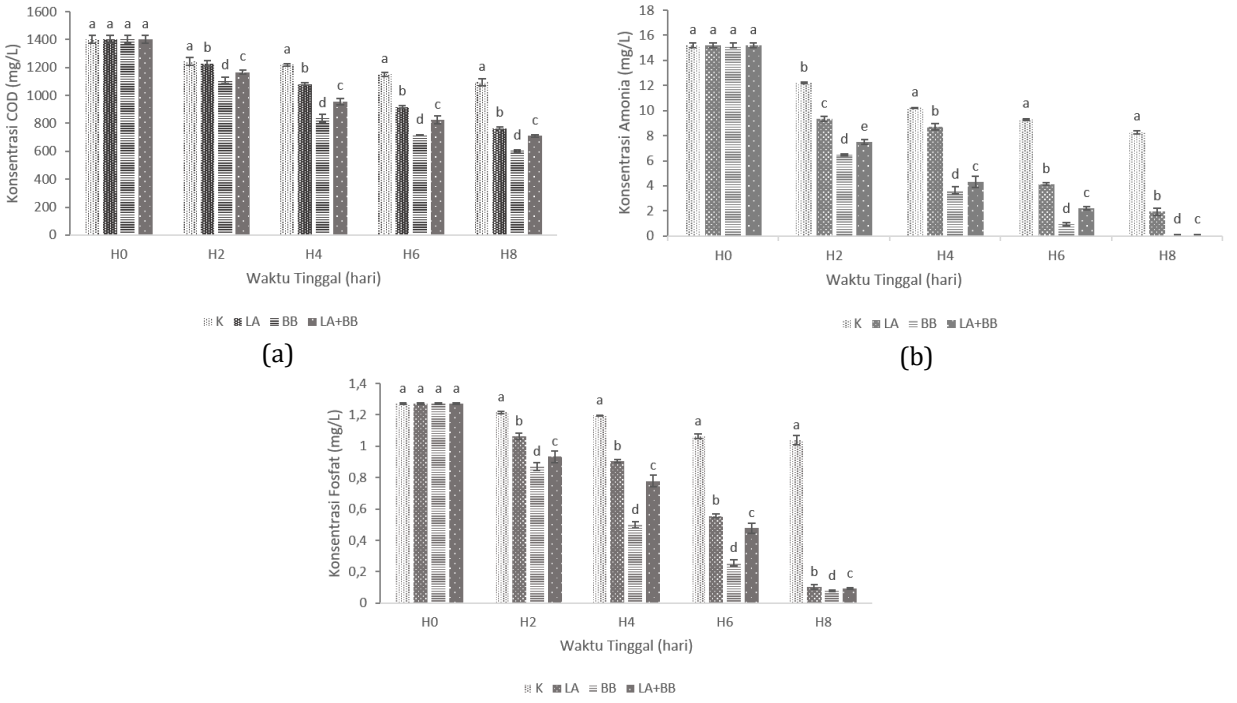
Hasil pengukuran konsentrasi awal COD, amonia, dan fosfat berada di atas baku mutu. Menurut Sanjaya *et al* (2025), Mubarok & Zainuri (2024), serta Telaumbanua *et al* (2024) air limbah tambak udang yang tidak diolah memiliki kadar COD, amonia, dan fosfat yang tinggi, yaitu berturut-turut sebesar 1084,33 mg/L, 14,28 mg/L, dan 0,5–1 mg/L. Konsentrasi bahan pencemar yang tinggi disebabkan adanya bahan organik yang terakumulasi dari sisa pakan dan sisa dari proses metabolisme udang, berupa feses. Pakan adalah sumber utama fosfor, dimana sisa pakan yang mengendap akan terurai menjadi fosfat yang dilepaskan dalam air. Metabolisme udang akan mengeluarkan feses yang mengandung sisa protein, asam amino, dan nitrogen yang akan terurai melalui proses amoniasi sehingga kadar amonia meningkat (Djumanto *et al*., 2018). Semakin banyak sisa pakan dan feses yang mengendap menyebabkan kebutuhan oksigen untuk proses oksidasi meningkat, sehingga berdampak pada nilai COD yang tinggi.

3.2. Interaksi Waktu Pengolahan dan Jenis Perlakuan

Pengolahan air limbah selama 8 hari menunjukkan adanya penurunan konsentrasi polutan secara signifikan. Hasil uji *Two-Way ANOVA* menunjukkan adanya interaksi signifikan antara waktu pengolahan limbah dan jenis media terhadap perubahan kadar COD, amonia, fosfat, dan nitrat. Adanya interaksi ditandai dengan hasil nilai signifikansi yang berada dibawah 0,005 pada hasil uji *Two-Way ANOVA*. Pada hari ke-0 (H0) semua perlakuan menunjukkan karakteristik yang seragam dan tidak berbeda nyata. Namun, pada hari ke-2 hingga ke-8 konsentrasi COD, amonia, dan fosfat pada semua perlakuan mengalami penurunan.

Semakin lama waktu tinggal maka semakin tinggi penurunan kadar polutan dalam air limbah karena mikroorganisme yang melekat pada media pengolahan akan menguraikan lebih banyak polutan dalam air limbah (Kholif *et al*., 2022). Mikroorganisme akan menggunakan bahan organik dalam air limbah sebagai sumber makanan lalu dimetabolisme menjadi bentuk yang lebih sederhana dan pembentukan sel-sel baru. Dengan bertambahnya waktu pengolahan, sel-sel baru akan bertambah dan bahan organik akan terurai lebih banyak. Proses degradasi senyawa organik pada air limbah terjadi karena aktivitas berbagai enzim dari konsorsium bakteri yang mampu menguraikannya menjadi bentuk sederhana yang toksisitasnya berkurang (Cao *et al*., 2022).

Namun, walaupun mengalami pengolahan konsentrasi COD masih berada di atas baku mutu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan COD paling tinggi terdapat pada perlakuan media *bioball* selama 8 hari, yaitu sebesar 57% dari 1.402,9 mg/L menjadi 602,9 mg/L. Penelitian Hiep *et al*, (2023) menggunakan sistem *Hybrid Constructed Wetlands* mampu mencapai efisiensi penurunan COD hingga 82–88% dengan waktu tinggal 3–5 hari. Terbatasnya efisiensi penurunan COD dalam penelitian ini disebabkan karena tingginya konsentrasi COD awal (1.402,9 mg/L), serta sistem pengolahan biologi tunggal tanpa adanya tahap *pre-treatment*.



Gambar 3. Konsentrasi COD (a), Amonia (b), dan Fosfat (c) Selama 8 Hari Pengolahan pada Perlakuan Kontrol (K), Lumpur aktif (LA), Bioball (BB), dan hibrid (LA+BB)

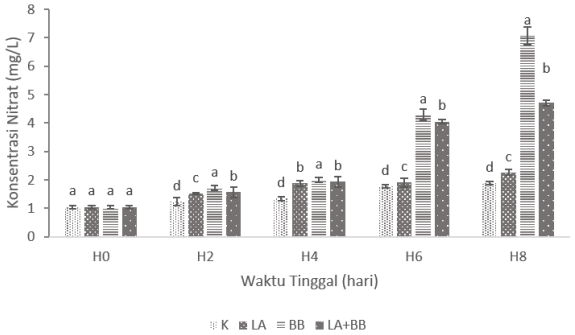
© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Air limbah tambak udang memiliki COD yang terikat pada padatan tersuspensi berupa sisa pakan yang terlarut. Tanpa adanya *pre-treatment* yang memisahkan padatan awal, mikroorganisme dalam sistem pengolahan harus bekerja secara ekstra untuk memecah senyawa organik kompleks padat yang memperlambat laju biodegradasi. Menurut Matesun *et al* (2024), pengolahan secara biologis tunggal seringkali tidak cukup efektif dalam menurunkan COD total sehingga diperlukan pengolahan lanjutan untuk mengurai COD yang masih tersisa.

Penurunan konsentrasi amonia, dan fosfat paling tinggi terdapat pada pengolahan dengan media *bioball,* yang diikuti oleh hibrid (LA+BB) dan lumpur aktif. Hal ini juga sejalan dengan penelitian Apema *et al* (2023) yang menyatakan bahwa pengolahan air limbah menggunakan biofilter media *bioball* secara aerob memiliki efisiensi penurunan yang baik. Hal ini terjadi karena *bioball* memiliki luas permukaan yang besar dengan pori yang cukup banyak sehingga dapat digunakan mikoorganisme untuk melekat.

Air limbah yang mengandung beban pencemar organik akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energi yang akan diurai sehingga konsentrasinya akan menurun. Proses ini akan mengarah pada peningkatan biomassa mikroorganisme dalam media biofilter, dimana mikroorganisme juga menggunakan energi dari bahan organik untuk berkembang biak sehingga tumbuh dalam jumlah besar (Meliana *et al*., 2025). Hal ini menyebabkan pengolahan dengan biofilm media *bioball* lebih efektif karena mikroorganisme dalam media *bioball* lebih stabil dan dapat memanfaatkan bahan organik untuk berkembangbiak. Sebaliknya, mikroorganisme pada lumpur aktif lebih rentan pada polutan karena selnya tidak melekat pada media dan tersebar bebas dalam air limbah.

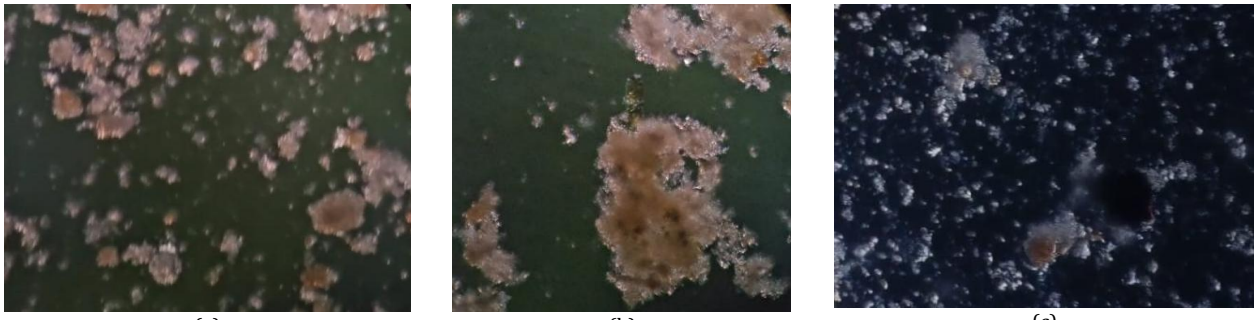
Berbeda dengan parameter COD, amonia dan fosfat yang mengalami penurunan setelah dilakukan pengolahan, parameter nitrat justru mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu pengolahan. Selama proses pengolahan air limbah, aerasi dapat memicu proses oksidasi amonia oleh mikroorganisme. Ketika mikroorganisme mendegradasi senyawa organik dan kadar oksigen masih tinggi, maka akan terjadi pula nitrifikasi, yaitu amonia dioksidasi menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat (Ngabito *et al*., 2024). Selama proses pengolahan air limbah kadar nitrat semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pengolahan, namun konsentrasinya masih berada di bawah baku mutu. Konsentrasi nitrat yang terlalu tinggi dalam air limbah dapat memicu terjadinya eutrofikasi, apabila dibuang dalam perairan. Eutrofikasi dapat berdampak pada *blooming algae* dan mempercepat pertumbuhan fitoplankton, sehingga kadar oksigen terlarut menurun dan mengganggu keberlangsungan hidup organisme dalam perairan.



Gambar 4. Konsentrasi Nitrat Air Limbah Tambak Udang Selama 8 Hari Pengolahan

3.3. Pembentukan Flok pada Media Pengolahan

Pada penelitian ini, bakteri yang tumbuh pada lumpur aktif dan biofilter *bioball* memiliki kemampuan dalam membentuk flok. Dalam pengolahan secara biologi, pembentukan flok oleh bakteri dapat berperan dalam pemisahan partikel air limbah (Yono & Dewi, 2023). Oleh karena itu, kemampuan bakteri dalam membentuk flok sangat menentukan keberhasilan dalam pengolahan air limbah.



(a) (b) (c)

Gambar 5. Pembentukan Flok pada Perlakuan LA (a), *bioball* (b), dan hibrid (c)

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Secara mikroskopis, pembentukan flok pada seluruh media perlakuan terlihat dan mengindikasi bahwa bakteri yang digunakan dalam pengolahan air limbah mampu melakukan agregasi. Flok adalah Kumpulan agregat hidup dari bakteri yang membentuk gumpalan. Flok yang terbentuk berperan dalam mengikat partikel-partikel koloid pada air limbah (Ekoputri *et al*., 2023). Pembentukan flok berkolerasi langsung secara kuantitatif dengan efisiensi penurunan polutan air limbah. Flok pada perlakuan LA cenderung berukuran kecil, renggang, dan menyebar. Hal ini diduga terjadi karena distribusi oksigen pada bakteri yang kurang merata. Menurut Rosariawari *et al* (2020) distribusi oksigen berpengaruh terhadap pembentukan flok karena oksigen berperan dalam proses respirasi bakteri. Proses ini berpengaruh terhadap kemampuan bakteri dalam membentuk flok. Hal ini berpengaruh terhadap rendahnya efisiensi penurunan polutan pada air limbah.

Flok pada perlakuan *bioball* memiliki bentuk padat dan besar. Hal ini diduga karena distribusi oksigen yang seimbang. Pada media *bioball*, terjadi pergerakan media karena adanya aerasi sehingga membuat oksigen lebih mudah mencapai sel-sel bakteri. Hal ini dapat mendukung efisiensi penurunan polutan pada air limbah, sehingga perlakuan *bioball* memiliki tingkat efisiensi penurunan paling baik. Pada perlakuan hibrid, flok yang terbentuk besar namun tidak sepadat perlakuan *bioball*. Pembentukan flok paling baik terjadi pada perlakuan *bioball*. Selain pembentukan flok, kelompok protozoa juga ditemukan pada perlakuan *bioball* dan hibrid H8. Namun, pada H8 flok yang terbentuk memiliki struktur padat dan besar sehingga visualisasi protozoa tidak terlalu jelas.



Gambar 6. Protozoa dalam Media Pengolahan Air Limbah

Protozoa merupakan mikroorganisme sel tunggal yang masuk dalam kelompok protista. Protozoa berperan dalam membantu proses degradasi senyawa polutan dalam air limbah dengan memanfaatkan bahan organik pada polutan (Opat *et al*., 2016). Selain itu, protozoa juga berperan dalam penjernihan efluen limbah dan membantu menjaga keseimbangan bakteri dengan memakan bakteri yang sudah mati.

4. KESIMPULAN

Konsentrasi polutan mengalami penurunan yang signifikan setelah pengolahan karena adanya interaksi antara waktu tinggal dan media pengolahan. Pengolahan menggunakan sistem biofilter media *bioball* dengan waktu tinggal 8 hari menunjukkan kinerja paling efektif dan efisiensi penurunan polutan tertinggi, yang diikuti oleh sistem hibrid (LA+BB) dan lumpur aktif (LA). Meskipun pengolahan biologi mampu menurunkan polutan air limbah tambak udang secara signifikan, konsentrasi COD dan TSS pada akhir pengamatan masih berada diatas baku mutu. Hal ini menunjukkan bahwa pengolahan biologi secara tunggal memiliki keterbatasan dalam mengurai senyawa kompleks, sehingga diperlukan adanya kombinasi antara pengolahan biologi dengan proses kimia maupun fisik.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul-Rahaman, I. (2012). Managing and maximising the use of sewage in tamale. *Civil and Environmental Researc*, *2*(8), 41–52.

Adonadaga, M.-G. (2014). *Nutrient Removal Efficiency of Activated Sludge Plants Treating Industrial and Municipal Wastewater in Ghana*. *2*(4), 58–62. https://doi.org/10.12691/jephh-2-3-1

Anwar, C., Confera, A. N., Noerwahju, A. S., Handayani, W., & Handoko, Y. A. (2023). The Evaluation of Physical, Biological, and Chemical Treatments on Piggery Wastewater: A study on pig farming in Sumogawe village, Semarang Regency, Central Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1275*(1), 012032. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1275/1/012032

Apema, F. D., Rahayu, D. E., Adnan, F., & Waryati, W. (2023). Penggunaan Media Sarang Tawon dan Bioball Pada Biofilter Aerob Pada Peengolahan Limbah Cair Laundry. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, *7*(1), 81–89. https://doi.org/10.30872/jtlunmul.v7i1.11809

Arfiati, D., Lailiyah, S., Pratiwi, R. K., Alvateha, D., Aisyah, F. D. D., & Dina, K. F. (2021). Efforts to Reduce Organic Matter In Shrimp Aquaculture Wastewater With Various Bacterial Consortium Trademarks. *Journal of Aquaculture Science*, *6*(1IS), 97–109. https://doi.org/10.31093/joas.v6i1IS.162

Cao, Z., Yan, W., Ding, M., & Yuan, Y. (2022). Construction of microbial consortia for microbial degradation of complex compounds. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *10*, 1–14. https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1051233

Djumanto, D., Ustadi, U., Rustadi, R., & Triyatmo, B. (2018). Utilization of Wastewater from Vannamei Shrimp Pond for Rearing Milkfish in Keburuhan Coast Purworejo Sub-District. *Aquacultura Indonesiana*, *19*(1), 38–46. https://doi.org/10.21534/ai.v19i1.48

Ekoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, D. A. (2023). Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia. *Jurnal Serambi Engineering*, *9*(1), 7781–7787. https://doi.org/10.32672/jse.v9i1.715

Guo, J., Ni, B.-J., Han, X., Chen, X., Bond, P., Peng, Y., & Yuan, Z. (2017). Unraveling microbial structure and diversity of activated sludge in a full-scale simultaneous nitrogen and phosphorus removal plant using metagenomic sequencing. *Enzyme and Microbial Technology*, *102*, 16–25. https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2017.03.009

Hiep, N. T., Anh, L. H. Q., Tuan, P. D., Khang, D. S., Dong, P. D., Han, H. T. N., Thuan, D. D., & Nga, D. T. (2023).

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP

Improving the Treatment of Saline Wastewater from Shrimp Farms Using Hybrid Constructed Wetlands Models toward Sustainable Development. *Environment and Natural Resources Journal*, *21*(6), 1–9. https://doi.org/10.32526/ennrj/21/20230146

Matesun, J., Petrik, L., Musvoto, E., Ayinde, W., & Ikumi, D. (2024). Limitations of wastewater treatment plants in removing trace anthropogenic biomarkers and future directions: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *281*, 116610. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116610

Meliana, V., Apriani, I., & Winardi. (2025). Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan dengan Kombinasi Metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dan Membran Filtrasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *23*(6), 1454–1463. https://doi.org/10.14710/jil.23.6.1454-1463

Mubarok, A. K. U., & Zainuri, M. (2024). Efektifitas Rumput Laut (Glacilaria sp.) Terhadap Penurunan Nilai Kandungan Amonia Dari Air Limbah Tambak Udang di Socah Madura. *Juvenil:Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, *5*(1), 96–103. https://doi.org/10.21107/juvenil.v5i1.24421

Muhammad Al Kholif, Miftakhul Rohmah, Pungut, Indah Nurhayati, Djoko Adi Walujo, & Majid, D. (2022). Penurunan Beban Pencemar Rumah Potong Hewan (RPH) Menggunakan Sistem Biofilter Anaerob. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, *14*(2), 100–113. https://doi.org/10.20885/jstl.vol14.iss2.art1

Mukhtar, G., Iwan, R., Mina, N., & Tintin, S., R. (2017). *Pemanfaatan Nutrisi Terfermentasi untuk Penurunan Kadar COD/BOD Air Limbah Industri*. *3*(1), 231–234. https://doi.org/https://dx.doi.org/10.36055/jiss.v3i1b.2090

Nawir, F., Paris, & Budimawan. (2023). Budidaya Udang Vaname dalam Meningkatkan Pendapatan dan Kesejahteraan Petani Tambak Rakyat Desa Bojo Kabupaten Barru. *JournalofHumanAndEducation*, *3*(3), 92–104. https://doi.org/https://doi.org/10.31004/jh.v3i3.326

Ngabito, P. A., Bialangi, N., & Kunusa, W. R. (2024). Analisis Kualitas Air Limbah Tambak Udang Di Kecamatan Mananggu Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. *Dalton : Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*, *7*(3), 229. https://doi.org/10.31602/dl.v7i3.16657

Opat, M. O., Setyawati, T. R., & Yanti, A. H. (2016). Inventarisasi Mikroalga dan Protozoa pada Instalansi Pengolahan Air Limbah Karet Sistem Biofilter Skala Laboratorium. *2016*, *43*(3), 19–25. https://doi.org/https://doi.org/10.26418/protobiont.v4i3.13241

Rocha, D. H. D., Sakamoto, I. K., & Varesche, M. B. A. (2024). Alkali-buffering effect to increase hydrogen production on co-fermentation of citrus agroindustrial waste. *International Journal of Hydrogen Energy*, *53*, 364–382. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.12.014

Rosariawari, F., Farahdiba, A. U., & Pranoto, M. S. (2020). Pengaruh Debit Aliran Terhadap Dissolve Oxygen Pada Proses Hidroulik Koagulasi Dengan Parshall Flume Dalam Penyisihan Senyawa Organik. *JURNAL ENVIROTEK*, *12*(1), 1–4. https://doi.org/10.33005/envirotek.v12i1.14

Sanjaya, E. H., Asha, A. A., Suharti, Muntholib, & Chen, H. (2025a). Effectiveness of Aerobic Microbes in the Treatment of Shrimp Pond Wastewater. *MALAYSIAN JOURNAL OF CHEMISTRY*, *27*(1), 211–219. https://doi.org/10.55373/mjchem.v27i1.211

Sanjaya, E. H., Asha, A. A., Suharti, Muntholib, & Chen, H. (2025b). Effectiveness of Aerobic Microbes in the Treatment of Shrimp Pond Wastewater. *MALAYSIAN JOURNAL OF CHEMISTRY*, *27*(1), 211–219. https://doi.org/10.55373/mjchem.v27i1.211

Subagyo, A., Arifin, A., & Kadaria, U. (2022). Perbandingan Jenis Media Kaldness terhadap Effisiensi Limbah Rumah Makan dengan Metode MBBR. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, *10*(2), 239. https://doi.org/10.26418/jtllb.v10i2.56415

Sumiyati, S., Sutrisno, E., & Wicaksono, F. (2023). Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Teknologi Hybrid Bioreaktor Biofilm—Fitoremediasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *21*(2), 403–407. https://doi.org/doi:10.14710/jil.21.2.403-407

Supito. (2017). *Tekhnik Budidaya Udang Vaname (Litopenaeus vannamei)*. Balai Besar Budidaya Air Payau Jepara, Kementerian Kelautan dan Perikanan.

Telaumbanua, B. H., Pangemanan, N. P. L., Tumbol, R. A., Undap, S. L., Tumembouw, S. S., & Salindeho, I. R. N. (2024). Fluktuasi parameter kualitas air di tambak super intensif udang vaname: Studi kasus pertambakan PT. Pillar Persada Parigi, Desa Bajo, Minahasa Selatan. *Budidaya Perairan*, *12*(2), 72–79.

Wahyuni, I., Suyasa, B., & Mahardika. (2014). *Efektivitas Sistem Biofilter Aerob dalam Menurunkan Kadar Amonia pada Air Limbah*. *8*(1), 79–85.

Weber, D. J., Rutala, W. A., Anderson, D. J., & Sickbert-Bennett, E. E. (2023). Biofilms on medical instruments and surfaces: Do they interfere with instrument reprocessing and surface disinfection. *American Journal of Infection Control*, *51*(11), A114–A119. https://doi.org/10.1016/j.ajic.2023.04.158

Winoto, S. W., Galih, A. V. B., Awahita, H., & Irmita, L. U. (2023). Pengembangan "pHelper" Kalkulator pH Larutan Berbasis Web Sebagai Media Pembelajaran Kimia. *Orbital: Jurnal Pendidikan Kimia*, *7*(2), 208–221. https://doi.org/10.19109/ojpk.v7i2.19781

Yanti, W. N., Prasadi, O., & Pramita, A. (2023). *Pengaruh Penambahan Konsorsium Bakteri Aerob Terhadap Kadar Pencemar Limbah Cair Industri Obat Tradisional*. *9*(1), 91–102. https://doi.org/https://dx.doi.org/10.20527/jukung.v9i1.17061

Yono, D., & Sapta Dewi, Y. (2023). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik System Lumpur Aktif di Gedung Trans Mart. *JURNAL TECHLINK*, *2*(2), 1–12. https://doi.org/10.59134/jtnk.v2i2.491

© 2026, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP