Jurnal AL-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI
Vol. 11, Nomor 03, September 2026, hal. 309-315
DOI http://dx.doi.org/10.36722/sst.v11i3.5822 https://jurnal.uai.ac.id/index.php/SST

Bioremediasi Substrat Organik Limbah *Greywater* Cuci Piring Menggunakan *Spirulina Platensis*

Akbar Maulana Farta[1], Aan Safentry[1], Rully Masriatini[1*]

[1]Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia Palembang, Jl. Lorong Gotong, 11 Ulu, Kec. Seberang Ulu II, Kota Palembang, Sumatera Selatan, 30265.

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: Masriatinirully@gmail.com

Abstract – **Environmental pollution caused by domestic wastewater, particularly dishwashing greywater, poses a serious challenge to aquatic ecosystems due to its high organic load. This study aimed to evaluate the effectiveness of the cyanobacterium S. platensis in remediating organic pollutant loads while assessing its biomass productivity. A batch system cultivation was conducted for 7 days using waste-to-Spirulina platensis inoculum volume ratios of 1:1, 1:3, and 1:5, supplemented with 16 g/L $NaHCO_3$ as a pH buffer and carbon source. Laboratory test results indicated that the 1:5 ratio on day 7 was the optimal condition for light penetration and microalgal growth. At this optimal ratio, S. platensis achieved a 75% removal of BOD (to 33.6 mg/L) and a 73% removal of COD (to 108 mg/L). Oil and grease concentrations decreased drastically by 87% to less than 1 mg/L. Phycoremediation of greywater at a 1:5 ratio effectively complied with the Domestic Wastewater Quality Standards (Permen LHK No. 68/2016) and reduced TSS to 28 mg/L. A sharp surge in biomass dry weight on day 7 (0.177 g/L) demonstrated that this process can effectively treat wastewater while opening opportunities to convert waste streams into economically valuable biomass within a circular economy framework.**

Abstrak - **Pencemaran lingkungan akibat limbah cair domestik, khususnya air bekas cuci piring (*greywater*), menjadi tantangan serius bagi ekosistem perairan karena beban organik yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas sianobakteri S. platensis dalam meremediasi beban polutan organik sekaligus mengevaluasi produktivitas biomassa yang dihasilkan. Metode penelitian dilakukan dengan sistem *batch* selama 7 hari menggunakan variasi rasio volume limbah terhadap inokulum Spirulina platensis sebesar 1:1, 1:3, dan 1:5 dengan penambahan NaHCO3 sebesar 16 g/L sebagai sistem penyangga (*buffer*) pH dan sumber karbon. Hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa perlakuan rasio 1:5 pada hari ke-7 merupakan kondisi paling optimal bagi penetrasi cahaya dan pertumbuhan mikroalga. Pada rasio optimal ini, S. platensis mampu menyisihkan nilai BOD sebesar 75% (menjadi 33,6 mg/L) dan COD sebesar 73% (menjadi 108 mg/L). Kadar minyak dan lemak mengalami penurunan drastis sebesar 87% hingga < 1 mg/L, Pengolahan fikoremediasi *greywater* rasio 1:5 efektif memenuhi Baku Mutu Air Limbah Domestik (Permen LHK No. 68/2016) dan menurunkan TSS hingga 28 mg/L. Lonjakan biomassa pada hari ke-7 (0,177 g/L) membuktikan proses ini mampu membersihkan limbah sekaligus membuka peluang konversi limbah menjadi biomassa bernilai ekonomi dalam konsep ekonomi sirkular.**

Keywords - *Biomass Productivity, Bioremediation, Domestic Wastewater, Phycoremediation, Spirulina.*

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan akibat limbah domestik, khususnya air cuci piring (*Greywater*), telah menjadi tantangan ekosistem yang semakin serius di Indonesia. Peningkatan aktivitas rumah tangga dan menjamurnya industri kuliner berkontribusi signifikan terhadap akumulasi beban organik di perairan bebas. Data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) 2025 menegaskan bahwa limbah cair domestik dan sisa makanan merupakan penyumbang utama pencemaran organik di perairan [1]. Karakteristik limbah cuci piring tergolong unik dan kompleks, di satu sisi mengandung surfaktan

Received:16 July 2026, Accepted: 10 September 2026, Published: 30 September 2026

(deterjen) yang resisten terhadap degradasi alami, namun di sisi lain kaya akan residu nutrisi seperti lipid, karbohidrat, protein, serta unsur hara makro (N dan P) yang berasal dari sisa bumbu makanan, minyak dan lemak.

Berdasarkan studi literatur, karakteristik *kitchen wastewater* memiliki kandungan polutan organik tertinggi dibandingkan jenis *greywater* lainnya seperti air mandi atau cucian baju. Nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah dapur dapat mencapai 840–3430 mg/L, sedangkan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) berkisar antara 250–1000 mg/L. Komposisi kimianya secara umum terdiri dari lemak (33%), protein (25%), abu (20%), selulosa (8%), pati (8%) dan lignin (6%). Selain beban organik terlarut, limbah ini membawa kandungan padatan tinggi dengan nilai *Total Suspended Solid* (TSS) berkisar 202–620 mg/L akibat sisa makanan yang tersuspensi , serta cenderung bersifat asam (pH 4,2–5,7) akibat proses degradasi awal bahan organik [2]. Di Indonesia, studi lapangan mengonfirmasi bahwa limbah restoran tanpa pengolahan memiliki kadar awal minyak-lemak sebesar 18,5 mg/L, BOD 143,88 mg/L, COD 342,32 mg/L dan TSS 188,6 mg/L , bahkan pada beban ekstrem nilai COD awal dapat mencapai 1.680 mg/L[3]. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/ Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016, limbah domestik wajib memenuhi baku mutu sebelum dibuang, dengan ambang batas maksimum BOD sebesar 30 mg/L, COD 100 mg/L, TSS 30 mg/L, Minyak & Lemak 5 mg/L, serta rentang pH 6–9 [2].

Dalam mengatasi polutan ini, berbagai teknologi pengolahan konvensional telah diterapkan. Evaluasi terhadap penggunaan *grease trap* (perangkap lemak) secara fisik menunjukkan efektivitas yang sangat terbatas, dengan penurunan COD hanya sebesar 18% dan BOD sebesar 24,10% [3]. Hal ini mengindikasikan bahwa pendekatan fisik saja belum memadai untuk memenuhi baku mutu lingkungan. Di sisi lain, teknologi biologis lanjut seperti Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) mampu mencapai efisiensi penurunan BOD hingga 99,98% dan COD 99,82% [4], namun teknologi tersebut memerlukan biaya investasi, operasional dan perawatan yang tinggi, sehingga kurang terjangkau untuk skala Usaha Kecil Menengah (UKM) atau aplikasi tersebar. Oleh karena itu, diperlukan alternatif teknologi pengolahan yang efektif, berbiaya rendah, ramah lingkungan dan mampu memberikan nilai tambah melalui prinsip ekonomi sirkular.

Bioremediasi dengan memanfaatkan mikroalga atau dikenal sebagai *phycoremediation* menawarkan solusi hijau yang menjanjikan [5]. *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*), sebuah sianobakteri berpigmen fotosintetik yang bersifat alkalifilik, telah banyak diteliti karena kemampuannya yang unik [6]. Organisme ini secara aktif mengasimilasi nutrien (nitrogen dan fosfor) serta karbon organik terlarut dari limbah untuk diubah menjadi biomassa seluler [7], sehingga secara langsung mereduksi nilai BOD dan COD [8]. Komposisi alami biomassa Spirulina sp. sangat kaya nutrisi, mengandung protein 60–71%, karbohidrat 16%, lemak 8%, serta senyawa bernilai tinggi seperti fikosianin 18% dan klorofil-a 1,6% [5].

Mekanisme remediasi polutan organik oleh S. *platensis* melibatkan tiga proses komplementer yang bekerja secara simultan yaitu biosorpsi, asimilasi biologis dan dukungan fotosintetik [9]. Pada tahap kontak awal, terjadi proses biosorpsi pasif yang cepat yaitu polutan, surfaktan dan ion logam terikat pada gugus fungsi dinding sel (hidroksil, karboksil, amino) dan matriks *Extracellular Polymeric Substances* (EPS) melalui interaksi elektrostatik dan hidrofobik [10]. EPS yang disekresikan juga memicu flokulasi partikel tersuspensi (TSS) sehingga meningkatkan kejernihan air [11]. Selanjutnya, terjadi asimilasi aktif S. *platensis* menyerap ion nitrogen (amonia, nitrat) melalui jalur enzimatis GS-GOGAT untuk sintesis protein, serta menyerap ortofosfat untuk pembentukan ATP dan asam nukleat [9]. Proses ini didukung penuh oleh fotosintesis oksigenik sel, fotolisis air melepaskan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*/DO) ke dalam medium yang secara simultan menyokong bakteri heterotrof asosiatif untuk mengoksidasi bahan organik kompleks menjadi CO_2 dan H_2O. CO_2 hasil respirasi bakteri kemudian difiksasi kembali oleh Spirulina melalui siklus Calvin-Benson, membentuk siklus CO_2–O_2 yang stabil dan mencegah terjadinya emisi gas rumah tangga dari sistem pengolahan [12].

Kultivasi mikroalga ini umumnya menggunakan Media Zarrouk sebagai standar emas komersial karena menghasilkan berat kering (*dry weight*) tertinggi (1,86 g/L), namun biaya operasionalnya sangat mahal akibat penggunaan bahan kimia murni seperti natrium bikarbonat ($NaHCO_3$) [13]. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah cair domestik sebagai media alternatif yang murah menjadi sangat strategis. Adaptabilitas Spirulina platensis telah terbukti pada berbagai media seperti limbah tahu, limbah peternakan dan limbah laundry, dengan efisiensi penurunan BOD dan COD berkisar antara

72,2–82,6% dan 63,3–73,6%, namun kinerja fikoremediasi sangat bergantung pada rasio konsentrasi limbah [14]. Konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan mikroalga akibat toksisitas deterjen atau kekeruhan yang membatasi penetrasi cahaya, sedangkan konsentrasi yang terlalu rendah membatasi ketersediaan nutrien esensial.

Pemanfaatan S. *platensis* pada limbah cair domestik ini sejalan dengan konsep *microalgal biorefinery* (kilang hayati mikroalga)[15], pengolahan limbah diintegrasikan dengan pemrosesan biomassa secara bertingkat (*cascade processing*). Biomassa yang dipanen dapat diekstraksi komponen bernilai tingginya seperti pigmen fikosianin, sisa lipidnya ditransesterifikasi menjadi biodiesel dan residu akhirnya dapat di valorisasi menjadi biogas melalui *anaerobic digestion* atau dijadikan pakan ternak kaya protein [16].

Berdasarkan potensi sirkular tersebut, penelitian ini secara khusus mengkaji penerapan fikoremediasi bersistem batch menggunakan Spirulina platensis pada limbah cair domestik pencucian piring dari sektor usaha rumah makan. Tujuan dari penelitian eksperimental ini adalah menganalisis pengaruh variasi rasio konsentrasi volume limbah terhadap inokulum Spirulina (1:1, 1:3, dan 1:5) terhadap efisiensi remediasi parameter BOD, COD, TSS, serta Minyak & Lemak, sekaligus mengevaluasi produktivitas berat kering biomassa yang dihasilkan. Melalui integrasi landasan teori dan pendekatan eksperimental ini, studi ini diharapkan dapat memberikan alternatif teknologi pengolahan limbah yang cost-effective, aplikatif bagi pelaku usaha dan mendukung keberlanjutan lingkungan berbasis ekonomi sirkular.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah eksperimental dengan menerapkan metode eksperimen murni untuk menguji pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Desain eksperimen menggunakan sistem batch pada fotobioreaktor sederhana memanfaatkan galon transparan volume 5 L untuk mengamati kinetika pertumbuhan mikroalga dan efisiensi remediasi polutan. Penelitian ini melibatkan tiga jenis variabel utama, variabel bebas yang diuji adalah variasi rasio konsentrasi volume air limbah domestik terhadap inokulum S. *platensis*. sebesar 1:1, 1:3, dan 1:5. Sementara itu, variabel terikat dalam studi ini mencakup efisiensi penurunan beban polutan organik yang ditinjau dari parameter BOD, COD, TSS, serta minyak dan lemak sebelum dan sesudah remediasi, sekaligus produktivitas berat kering biomassa mikroalga. Dalam memastikan validitas data, variabel kontrol dijaga konstan selama proses berjalan yang meliputi volume total media kultivasi sebesar 4 L pada setiap perlakuan, suhu ruangan yang stabil, pencahayaan tidak langsung (intensitas terukur menggunakan aplikasi lux meter pada ponsel berkisar 1.600–3.500 lux) dengan paparan yang relatif sama, laju aerasi konstan sebesar 3,5 L/menit, serta waktu kultivasi selama 7 hari.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih dua minggu. Kegiatan eksperimen dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Universitas PGRI Palembang, Sementara itu, pengujian analisa sampel hasil pengolahan dilakukan di Balai Labkesmas Palembang dan BSPJI Palembang.

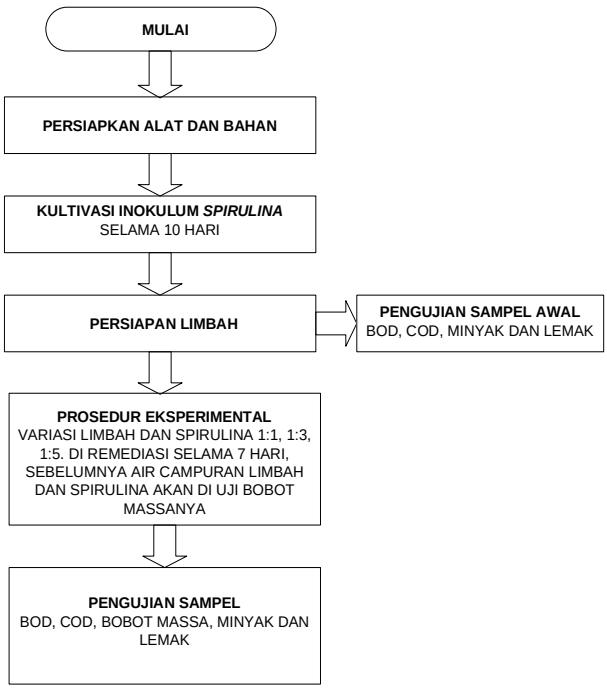
Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi alat kultivasi dan alat analisis untuk mempermudah pengerjaan. Alat kultivasi dan remediasi terdiri atas galon transparan volume 5 L sebagai wadah remediasi, aerator udara jenis Q6 dengan kapasitas keluaran udara 3,5 L/menit, selang aerasi, dan batu aerasi. Sedangkan alat analisis dan pemanenan meliputi timbangan analitik, oven pengering, pipet 3 ml, erlenmeyer, botol sampel, jerigen 5 L, saringan nylon 400 mesh, kain saring, kertas saring atau membran filter, serta indikator kertas pH untuk pemantauan harian. Bahan utama yang diperlukan dalam riset ini meliputi starter murni S. *platensis*, sampel air limbah bekas cuci piring rumah makan nasi padang yang diperoleh dari salah satu rumah makan di Palembang dan air bersih. Selain itu, digunakan pula beberapa bahan kimia pendukung berupa natrium bikarbonat $NaHCO_3$ sebagai penyedia sumber karbon anorganik sekaligus agen peningkat atau penyangga pH media, serta pupuk Walne sebagai nutrisi utama bagi mikroalga saat fase kultivasi inokulum awal.

Prosedur Penelitian

Prosedur kerja dalam penelitian ini diawali dengan tahapan pertama yaitu persiapan inokulum dan air limbah. Sebelum diinokulasikan ke dalam media limbah cair domestik, starter murni Spirulina sp. dikembangkan atau dikultivasi terlebih dahulu selama 10 hari. Proses ini dilakukan dengan memasukkan sebanyak 1 L bibit murni Spirulina sp.

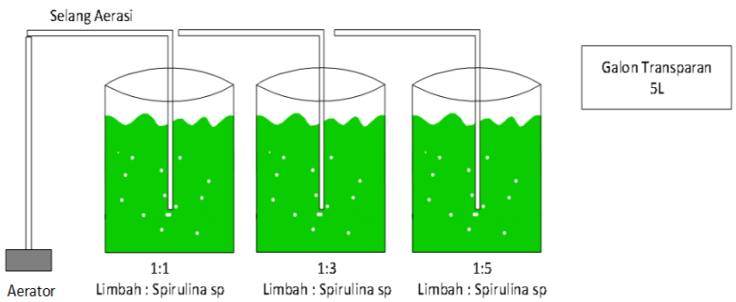
ke dalam wadah berisi 3 L air bersih (rasio 1:3) pada dua galon bekas secara paralel guna memperoleh total volume inokulum sebesar 8 L. Media nutrisi kemudian ditambahkan menggunakan pupuk Walne dengan dosis 1 ml/L yang dimodifikasi melalui penambahan sumber karbon $NaHCO_3$ sebanyak 16 g/L [13]. Dalam persiapan sampel air limbah, air buangan dapur diambil dengan cara menampung air cucian piring serta air bekas bilasan dari bak penampung ember sebelum masuk ke saluran pembuangan utama untuk memastikan karakteristiknya mewakili aktivitas asli rumah makan [2]. Limbah cair cuci piring tersebut dipisahkan secara fisik antara padatan organik kasar dan air kontaminannya, lalu ditambahkan $NaHCO_3$ sebanyak 16 g/L sebagai sistem buffer guna menjaga agar pH tetap berada pada kondisi alkali. Tahap persiapan ini diakhiri dengan pengujian karakteristik awal pada hari ke-0 untuk parameter analisis kadar BOD, COD, TSS, serta minyak dan lemak.



Gambar 1. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian kemudian dilanjutkan dengan tahapan kedua yaitu pelaksanaan proses remediasi sistem batch. Air limbah domestik yang telah disiapkan dicampurkan dengan inokulum S. *platensis*. hasil kultivasi 10 hari ke dalam reaktor galon transparan 5 L dengan volume total campuran sebesar 4 L. Proses pencampuran dijalankan berdasarkan tiga variasi rasio volume limbah terhadap inokulum S. *platensis* yaitu Variasi 1 dengan rasio 1:1 yang mencampurkan 2 L air limbah dan 2 L inokulum, Variasi 2 dengan rasio 1:3 yang mencampurkan 1 L air limbah dan 3 L inokulum, serta Variasi 3 dengan rasio 1:5 yang menggabungkan 0,67 L air limbah dan 3,33 L inokulum Spirulina sp (gambar 1), Penetapan volume air limbah 4 L bertujuan untuk menjaga intensitas penetrasi cahaya dan laju aerasi spesifik per volume media berada pada kondisi yang seragam di setiap reaktor galon 5 L. Secara keseluruhan, rangkaian tahapan penelitian mulai dari persiapan inokulum, pencampuran limbah dengan variasi rasio (1:1, 1:3, dan 1:5), hingga proses remediasi selama 7 hari diperjelas melalui diagram alir pada gambar 1.

Setiap campuran variasi tersebut, diambil sampel sebanyak 100 ml untuk dikeringkan dan ditimbang sebagai data bobot awal mikroalga [17]. Seluruh wadah reaktor diberi label perlakuan dan ditempatkan di luar ruangan dengan paparan sinar matahari tidak langsung demi mencegah terjadinya overheating pada volume reaktor yang kecil. Proses fikoremediasi dijalankan selama 7 hari dengan pemberian aerasi konstan secara terus-menerus menggunakan debit udara sebesar 3,5 L/menit untuk menjaga suplai oksigen dan homogenitas pencampuran media dengan suhu ruang. Desain reaktor berikut penempatan ketiga variasi rasio volume limbah terhadap inokulum disajikan secara skematis pada gambar 2.



Gambar 2. Desain Reaktor Bioremediasi dengan Variasi

Rangkaian metodologi diakhiri dengan tahapan ketiga yaitu pengujian sampel dan analisis laboratorium. Pengukuran berat biomassa kering dilakukan melalui pengambilan sampel dari kolom air sebanyak 100 ml secara berkala pada hari ke-0, hari ke-4, dan hari ke-7. Sampel tersebut disaring, dikeringkan di dalam oven pengering, dan ditimbang menggunakan timbangan analitik dengan metode gravimetri untuk memperoleh nilai berat kering biomassa alga. Sementara itu, analisis parameter kualitas air dilakukan pada sampel air media yang diambil pada hari ke-0 sebagai data awal sebelum pertumbuhan dimulai dan hari ke-7 sebagai akhir dari masa remediasi. Uji kualitas air untuk mengukur kadar BOD, COD, TSS, serta kandungan minyak dan lemak ini dianalisis di Balai Laboratorium

Kesehatan Masyarakat (Labkesmas) Palembang menggunakan metode analisis standar kualitas air. Selain pengujian laboratorium tersebut, parameter pH kultur juga diukur secara rutin setiap hari selama masa remediasi menggunakan indikator kertas pH untuk memastikan bahwa kondisi lingkungan kultur tetap berada dalam rentang optimal serta untuk memantau efek buffering $NaHCO_3$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Awal Limbah *Greywater*

Berdasarkan hasil uji awal laboratorium pada Hari ke-0, limbah *greywater* cuci piring dari rumah makan memiliki beban pencemar yang sangat pekat. Kadar polutan organik awal pada rasio pekat (1:1) menunjukkan nilai TSS sebesar 1768 mg/L, BOD 165,8 mg/L, COD 473 mg/L, serta minyak & lemak sebesar 63,5 mg/L. Nilai-nilai tersebut jauh melampaui ambang batas aman lingkungan yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri LHK No. 68 Tahun 2016 [18].

Kinetika Pertumbuhan Biomassa Kering Mikroalga

Tabel 1 menunjukkan adanya tren penurunan berat kering terukur yang cukup unik pada hari ke-4 di rasio 1:3 dan 1:5. Penurunan nilai ini bukan mengindikasikan kematian sel massal, melainkan suatu respons adaptif (*environmental shock*) mikroalga terhadap surfaktan deterjen dan lipid limbah dapur. Pada fase kritis ini, S. platensis mensekresikan *Extracellular Polymeric Substances* (EPS) berupa lendir pekat pelindung sel [11]. Sekresi EPS memicu terjadinya agregasi biologis (flokulasi) sel-sel alga dengan partikel suspensi organik halus, sehingga massa alga menempel secara fisik pada dinding reaktor galon [19].

Tabel 1. Hasil pemantauan berat kering biomassa S. *platensis* selama 7 hari

Variasi Rasio	Hari 0 (g/L)	Hari 4 (g/L)	Hari 7 (g/L)
1:1	0,070	0,163	0,113
1:3	0,100	0,060	0,063
1:5	0,193	0,123	0,177

Akibat pengambilan sampel gravimetri yang dilakukan pada kolom air tengah reaktor, gumpalan yang menempel di dinding tidak ikut tersaring, sehingga berat kering terukur mengalami penurunan semu. Sebaliknya, stabilitas nilai berat kering semu yang tinggi pada rasio pekat 1:1 di hari ke-4 disebabkan oleh tingginya kontribusi padatan sisa bumbu rempah dan emulsi lemak dapur (TSS awal 1768 mg/L) yang ikut tertahan di kertas saring. Pada kondisi rasio pekat ini, S. *platensis* hanya mampu bertahan hidup (*survive*) tanpa mengalami pertumbuhan sel yang signifikan.

Memasuki hari ke-7, terjadi lonjakan pertumbuhan biomassa yang tajam, khususnya pada rasio encer 1:5 yang meningkat pesat mencapai 0,177 g/L setelah berhasil melewati fase adaptasi (*lag phase*). Kondisi lingkungan pada rasio 1:5 yang lebih encer memberikan keuntungan ganda: meminimalisir sifat toksisitas akut deterjen limbah sekaligus memberikan penetrasi cahaya matahari yang jauh lebih optimal untuk memacu aktivitas fotosintesis sel alga secara eksponensial.

Penyisihan Beban Polutan Organik

Setelah proses remediasi berlangsung selama 7 hari, efektivitas Spirulina platensis dalam mengolah limbah *greywater* cuci piring pada berbagai variasi rasio volume limbah terhadap inokulum (1:1, 1:3, dan 1:5) dievaluasi melalui pengukuran beberapa parameter kualitas air yaitu BOD, COD, TSS, serta minyak dan lemak. Data hasil pengukuran tersebut kemudian disajikan secara komparatif pada tabel 2 untuk memudahkan pembaca dalam membandingkan kinerja masing-masing variasi rasio, sekaligus menilai sejauh mana efisiensi penurunan yang dicapai oleh *Spirulina platensis* telah memenuhi standar baku mutu air limbah domestik berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.68/Menlhk-Setjen/2016 [18].

Tabel 2. Efisiensi Penurunan Kualitas Air Setelah 7 Hari Remediasi

Rasio	Parameter	Hari Awal (mg/L)	Hari 7 (mg/L)	Baku Mutu
1:1	TSS	1768	102	30 mg/L
	BOD	165,8	58,2	30 mg/L
	COD	473	163	100 mg/L
	Minyak & Lemak	63,5	1,5	5 mg/L
1:3	TSS	1492	32	30 mg/L
	BOD	144,3	45,1	30 mg/L
	COD	436	138	100 mg/L
	Minyak & Lemak	20	<1,0	5 mg/L
1:5	TSS	1095	28	30 mg/L
	BOD	135,1	33,6	30 mg/L
	COD	402	108	100 mg/L
	Minyak & Lemak	7,5	<1,0	5 mg/L

Berdasarkan tabel 2, efisiensi penyisihan polutan organik (BOD dan COD) menunjukkan tren linier yang berbanding lurus dengan tingkat keenceran

rasio reaktor. Hasil pengolahan optimal dicapai oleh reaktor dengan variasi rasio 1:5 yang menghasilkan persentase penurunan BOD tertinggi mencapai 75% (menurun hingga kadar akhir 33,6 mg/L) dan COD sebesar 73% (menjadi 108 mg/L).

Penurunan parameter organik makro ini membuktikan terjadinya proses asimilasi biologis yang berjalan efektif. Karbon organik terlarut sisa makanan serta unsur nitrogen dan fosfor di dalam air limbah berhasil diserap melintasi membran sel alga sebagai nutrisi pembentukan sel baru. Selain itu, keberadaan pasokan $NaHCO_3$ sebesar 16 g/L bertindak sebagai agen penyangga (*buffering capacity*) alkali yang sangat stabil mempertahankan pH kultur konstan pada angka 9-10. Kondisi pH basa tinggi ini merangsang laju fotosintesis oksigenik S. *platensis* untuk melepaskan suplai gas oksigen terlarut (O_2) melimpah secara internal (in situ) ke dalam kolom air reaktor.

Keberadaan gas oksigen fototrof ini memacu percepatan metabolisme respirasi aerobik bakteri pendukung untuk mengoksidasi senyawa karbon organik kompleks secara sempurna menjadi bentuk mineral hara yang lebih sederhana[9]. Fenomena yang sangat mengesankan ditunjukkan pada parameter degradasi kadar minyak dan lemak di seluruh variasi reaktor yang sukses ditekan secara drastis hingga mencapai konsentrasi akhir <1 mg/L pada rasio 1:5 (efisiensi 87%) dan 1,5 mg/L pada rasio pekat 1:1. Kemampuan pereduksian Fats, Oils, and Grease (FOG) yang tinggi ini berjalan melalui mekanisme biosorpsi pasif hidrofobik pada dinding sel protein alga yang diikuti oleh hidrolisis enzimatis ekstraseluler (enzim lipase) bakteri asosiatif untuk memecah ikatan rantai asam lemak lipid [19]. Seluruh reaktor berhasil melampaui baku mutu regulasi ketat minyak dan lemak nasional (<5 mg/L). Parameter fisik padatan tersuspensi (TSS) juga mengalami penurunan drastis dari konsentrasi awal ribuan mg/L menjadi hanya 28 mg/L pada rasio 1:5. Penurunan ini dipicu oleh pengendapan kimiawi (chemical precipitation) ion garam karbonat akibat interaksi pH alkali tinggi serta proses bio-flokulasi dari matriks polimer EPS alga yang mengikat partikel koloid tersuspensi limbah sehingga mengendap ke dasar reaktor [20].

KESIMPULAN

Aplikasi fikoremediasi menggunakan mikroalga *Spirulina platensis* terbukti sangat efektif dalam menurunkan beban pencemaran organik pada limbah cair domestik cuci piring (*greywater*). Variasi rasio volume 1:5 (Limbah : Inokulum) ditetapkan sebagai kondisi operasi paling optimal karena memberikan keseimbangan lingkungan terbaik bagi penetrasi cahaya fotosintesis dan adaptasi sel alga.

Pada kondisi optimal tersebut, S. *platensis* menghasilkan efisiensi pembersihan tertinggi dengan penurunan nilai BOD sebesar 75% (kadar akhir 33,6 mg/L), COD sebesar 73% (kadar akhir 108 mg/L), serta TSS menjadi 28 mg/L. Parameter minyak dan lemak mengalami reduksi paling signifikan hingga mencapai <1 mg/L (efisiensi 87%), sehingga sukses memenuhi ambang batas Baku Mutu Air Limbah Domestik Peraturan Menteri LHK No. 68 Tahun 2016. Stabilitas sistem diperkuat oleh peran penambahan $NaHCO_3$ 16 g/L yang menjaga pH alkali konstan pada angka 9.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas PGRI Palembang atas dukungan fasilitas penelitian serta kepada dosen pembimbing atas bimbingan yang diberikan.

REFERENSI

[1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kesatuan Ekosistem (KLHK), "KOMPOSISI SAMPAH," Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). Accessed: Jan. 29, 2026. [Online]. Available: https://sampahnasional.kemenlh.go.id/.

[2] S. Nurul Khotimah, N. Anisa Mardhotillah, and N. Arifaini, "Karakterisasi Limbah Cair Greywater pada level Rumah Tangga Berdasarkan Sumber Emisi Greywater Characterization at Household Scale by Emission Source," *Jurnal Saintis*, vol. 21, no. 2, 2021, doi: 10.25299/saintis2021.vol21(02).7876.

[3] I. Akbar and A. Silmi, "Pengolahan Limbah Minyak dan Lemak di Restoran Padang dengan Metode Fisik (Oil Grease Trap)," *JURNAL TECHLINK*, vol. 5, no. 2, pp. 1–7, Oct. 2023, doi: 10.59134/jtnk.v5i2.518.

[4] Y. S. Ummah, I. R. Eri Wardoyo, and P. Hermiyanti, "Biofilter Aerob Media Kaldness dalam Menurunkan Kadar BOD, COD dan TSS Limbah Cair Rumah Makan," *GEMA LINGKUNGAN KESEHATAN*, vol. 18, no. 1, Feb. 2020, doi: 10.36568/kesling.v18i1.1112.

[5] H. M. Pakpahan, S. Hasibuan, and S. Syafriadiman, "Penggunaan Pupuk Organik Cair Limbah Tahu dan Air Kelapa Terhadap Pertumbuhan Spirulina sp.," *Media Akuakultur*, vol. 17, no. 2, pp. 73–80, Jul. 2022, doi: 10.15578/ma.17.2.2022.73-80.

[6] A. Silkina, N. E. Ginnever, F. Fernandes, and C. Fuentes-Grünewald, "Large-Scale Waste Bio-Remediation Using Microalgae Cultivation as a Platform," *Energies (Basel).*, vol. 12, no. 14, p. 2772, Jul. 2019, doi: 10.3390/en12142772.

[7] H. Hadiyanto, M. Christwardana, and C. da Costa, "Electrogenic and biomass production capabilities of a Microalgae–Microbial fuel cell (MMFC) system using tapioca wastewater and Spirulina platensis for COD reduction," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, vol. 45, no. 2, pp. 3409–3420, 2023, doi: 10.1080/15567036.2019.1668085.

[8] S. S. Joshi, M. Kothuri, and K. Jagdale, "Harnessing Spirulina platensis for Efficient Domestic Wastewater Treatment and Biomass Recovery," in *Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*, Springer, Singapore, 2026, pp. 173–181. doi: 10.1007/978-981-95-2030-5_13.

[9] Rempel et al., "Microalgae growth using treated domestic effluent added to emerging pollutants: Removal mechanism and generation of by products," Journal of Water Process Engineering, vol. 55, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.jwpe.2023.104175.

[10] H. Meng, Y. Xia, and H. Chen, "Bioremediation of surface water co-contaminated with zinc (II) and linear alkylbenzene sulfonates by Spirulina platensis," *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 47–48, pp. 152–155, 2012, doi: 10.1016/j.pce.2011.06.003.

[11] H. Hadiyanto *et al.*, "Microplastic removal in aquatic systems using extracellular polymeric substances (EPS) of microalgae," *Sustainable Environment*, vol. 11, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1080/27658511.2025.2454756.

[12] T.-Y. Wang, H.-C. Liu, and Y. Lee, "Use of Anthropic Acclimated Spirulina platensis (Arthrospira platensis) Bio-adsorption in the Treatment of Swine Farm Wastewater," *International Journal Of Agriculture & Biology Int. J. Agric. Biol*, vol. 15, pp. 107–112, 2013, https://www.fspublishers.org/paper/253.

[13] R. Dineshkumar, R. Narendran, and P. Sampathkumar, "Cultivation of Spirulina platensis in different selective media," *Indian J. Geomarine. Sci.*, vol. 45, no. 12, pp. 1749–1754, 2016. https://www.researchgate.net/publication/329782935_Cultivation_of_Spirulina_platensis_in_different_selective_media.

[14] A. Jabbar, A. V. Amalia, A. Haris, N. R. Dewi, F. Falasifah, and M. Abdullatif, "Potensi Spirulina platensis sebagai Agen Remediasi Air Limbah Laundry," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 22, no. 5, pp. 1224–1231, Aug. 2024, doi: 10.14710/jil.22.5.1224-1231.

[15] R. K. Oruganti, K. Katam, P. L. Show, V. Gadhamshetty, V. K. K. Upadhyayula, and D. Bhattacharyya, "A comprehensive review on the use of algal-bacterial systems for wastewater treatment with emphasis on nutrient and micropollutant removal," *Bioengineered*, vol. 13, no. 4, pp. 10412–10453, Apr. 2022, doi: 10.1080/21655979.2022.2056823.

[16] R. Chavan and S. Mutnuri, "Tertiary treatment of domestic wastewater by Spirulina platensis integrated with microalgal biorefinery," *Biofuels*, vol. 10, no. 1, pp. 33–44, Jan. 2019, doi: 10.1080/17597269.2018.1461509.

[17] F. Hindarti and E. Ayuningtyas, "Pengembangan Teknik Kultivasi Spirulina sp. Sebagai Sumber Biomassa Energi Terbarukan dalam Fotobioreaktor Airlift," *Jurnal Energi dan Lingkungan (Enerlink)*, vol. 16, no. 1, pp. 17–24, Nov. 2020, doi: 10.29122/jel.v16i1.4578.

[18] Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk-Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*. Jakarta, 2016. Accessed: Jan. 29, 2026. [Online]. Available: https://ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/5/170314114854P.68%20BAKU%20MUTU%20LIMBAH%20DOMESTIK.pdf.

[19] S. Mukhopadhyay, A. Jana, S. Ghosh, S. Majumdar, and T. K. Ghosh, "*Arthrospira* sp. mediated bioremediation of gray water in ceramic membrane based photobioreactor: process optimization by response surface methodology," *Int. J. Phytoremediation*, vol. 24, no. 13, pp. 1364–1375, Nov. 2022, doi: 10.1080/15226514.2022.2027865.

[20] D. S. de Souza, R. C. Valadão, A. L. Nascentes, L. D. B. da Silva, and H. Vieira de Mendonça, "Use of the cyanobacterium Spirulina platensis in cattle wastewater bioremediation," *Acta Scientiarum. Technology*, vol. 44, p. e58806, Mar. 2022, doi: 10.4025/actascitechnol.v44i1.58806.