

Potensi *Spirulina platensis* sebagai Agen Remediasi Air Limbah Laundry

Abdul Jabbar^{1*}, Andin Vita Amalia¹, Amnan Haris¹, Novi Ratna Dewi², Falasifah³, dan Mukhlis Abdullatif¹

¹Program Studi Ilmu Lingkungan, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia; e-mail: abduljabbar@mail.unnes.ac.id

²Program Studi Pendidikan IPA, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

³PT. Alga Bioteknologi Indonesia, Semarang, Indonesia

ABSTRAK

Pertumbuhan populasi dan ekonomi telah meningkatkan jumlah bisnis laundry yang dapat memiliki dampak negatif terhadap lingkungan karena penggunaan deterjen sebagai bahan aktif dalam proses pencucian. Penelitian ini bertujuan mengkaji kemampuan *Spirulina platensis* sebagai agen remediasi limbah laundry. Tahapan penelitian meliputi penyiapan kultur *Spirulina platensis*, sampling limbah laundry, inokulasi limbah dengan *Spirulina platensis*, analisis karakteristik limbah remediasi, analisis mikroskopik dan pengukuran biomassa spirulina, dan identifikasi produk intermediet degradasi air limbah laundry. Penelitian dirancang dengan membuat perbandingan kultur spirulina: air limbah laundry (v/v) yaitu kultur A (5:1), B (1:1), dan C (1:5), dengan kultur kontrol adalah spirulina tanpa air limbah. Hasil menunjukkan kinerja terbaik remediasi pada kultur C dengan reduksi COD, BOD, dan TSS masing-masing 59,2; 69,5 dan 72,1%. Morfologi spirulina setelah meremediasi lebih pendek dengan bentuk yang abnormal, terpecah, kasar, dan adanya tempelan agregat sebagai adaptasi spirulina terhadap kondisi lingkungan. Biomassa bobot basah tertinggi dihasilkan oleh kultur A (6,3768 g), kemudian C (5,5423 g), dan B (4,9914 g) dengan reduksi berat berkisar 89-91%. Uji FTIR menunjukkan terjadi perubahan senyawa kimia di dalam spirulina. Hal ini membuktikan bahwa spirulina memiliki potensi menjanjikan dalam meremediasi limbah laundry.

Kata kunci: Bioremediasi, Limbah Laundry, *Spirulina platensis*

ABSTRACT

Population and economic growth have boosted laundry businesses, impacting the environment negatively with detergent use. This research evaluates *Spirulina platensis* as a remedy for laundry waste. Stages involve preparing a *Spirulina platensis* culture, sampling laundry waste, inoculating with *Spirulina platensis*, analyzing waste characteristics, performing microscopic examination, measuring biomass, and identifying degradation products. The study compares spirulina culture: laundry wastewater (A: 5:1, B: 1:1, C: 1:5) with a control (spirulina without wastewater). Culture C exhibited the best remediation, reducing COD, BOD, and TSS by 59.2%, 69.5%, and 72.1%. Post-remediation, spirulina displayed shorter, abnormal, fragmented morphology with aggregate patches, adapting to environmental conditions. Culture A produced the highest wet-weight biomass (6.3768 g), followed by C (5.5423 g) and B (4.9914 g), with 89-91% weight reductions. FTIR testing indicated chemical changes, affirming spirulina's potential in laundry waste remediation.

Keywords: Bioremediation, Laundry wastewater, *Spirulina platensis*

Citation: Jabbar, A., Amalia, A. V., Haris, A., Dewi, N. R., Falasifah, dan Abdullatif, M. (2024). Potensi *Spirulina platensis* sebagai Agen Remediasi Air Limbah Laundry. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(5), 1224-1231, doi:10.14710/jil.22.5.1224-1231

1. PENDAHULUAN

Limbah laundry yang memasuki perairan tanpa diolah dapat menimbulkan dampak yang berbahaya bagi masyarakat dan lingkungan. Limbah laundry termasuk salah satu jenis limbah rumah tangga (domestik). Limbah domestik merupakan salah satu sumber mikroba yang mencemari air dan berpotensi menyebabkan berbagai jenis penyakit, serta dapat menyebarkan patogen melalui perairan (McAllister &

Topp, 2012). Berdasarkan observasi awal di lapangan, limbah laundry di area sekitar kecamatan Gunungpati khususnya area kampus, sangat mencemari aliran sungai. Warna air yang dibuang ke aliran selokan-selokan rumah berbau. Padahal area ini padat rumah warga yang tentunya akan menimbulkan dampak pencemaran. Hal ini terjadi karena banyak warga area sekitar menggunakan air tanah sebagai sumber kehidupan. Dengan meningkatnya cemaran air limbah

laundry ini, akan mempersulit ketersediaan air bersih di area sekitar Gunungpati. Dampaknya sudah sangat dirasakan yakni warga sudah banyak beralih pada kemasan isi ulang air minum untuk kebutuhan minum dan memasang PAM untuk kebutuhan memasak, mandi, mencuci dan sebagainya. Oleh karena itu, limbah laundry sebelum dibuang ke lingkungan, limbah cair perlu diolah terlebih dahulu agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat dan ekosistem.

Bahan yang terkandung di dalam detergen adalah bahan yang kurang ramah lingkungan, seperti linier alkyl sulfonat (LAS), sodium dodecyl benzene sulfonate, ammonium klorida, alkilbenzena sulfonate, natrium sulfat, dan natrium karbonat. Kandungan dari detergen tersebut memiliki dampak yang buruk pada badan perairan yang terakumulasi surfaktan. Hal ini menyebabkan terjadinya permasalahan seperti transfer oksigen yang menjadi terhambat, pendangkalan perairan, serta menyebabkan degradasi biota perairan (Zairinayati & Shatriadi, 2019).

Salah satu metode pengolahan limbah cair yang efektif adalah dengan memanfaatkan mikroalga untuk menyerap zat organik dalam limbah tersebut (Cirne et al., 2006). Mikroalga adalah salah satu jenis bahan biologis yang efektif sebagai sorben dalam menyerap logam berat sebagai langkah pengendalian pencemaran lingkungan. Biosorpsi merupakan istilah yang menggambarkan proses adsorpsi yang melibatkan mikroorganisme sebagai agen penyerap. Mikroalga memiliki dinding sel yang mengandung polisakarida, protein, lipid, serta memiliki beberapa gugus fungsi seperti amino, hidroksil, karboksil, dan sulfat yang berperan dalam pertukaran ion logam (Heong et al., 2021).

Degradasi senyawa organik dalam limbah cair oleh mikroalga terjadi melalui beberapa mekanisme. Mikroalga mengeluarkan enzim yang memecah ikatan kimia dalam senyawa organik kompleks. Selain itu, mereka juga menggunakan jalur metabolik untuk memproses senyawa organik menjadi komponen yang lebih sederhana. Beberapa mikroalga juga membentuk hubungan simbiotik dengan organisme lain, dimana mereka saling bersinergi untuk mendegradasi senyawa organik (Touliabah et al., 2022). Mikroalga juga memiliki potensi untuk mengurangi kandungan nitrogen dan fosfor dalam air limbah (Sayadi et al., 2016).

Spirulina merupakan jenis mikroalga yang memiliki berbagai kelebihan dalam pengolahan air limbah. Beberapa di antaranya adalah kemampuan untuk tumbuh subur di perairan, bereproduksi dengan cepat, memiliki rentang toksisitas yang luas, mampu mengolah berbagai jenis limbah, dan tidak bersifat patogen. Alasan lainnya karena *spirulina* memiliki toleransi yang tinggi terhadap tekanan lingkungan, teknik budidaya yang sederhana, dan proporsi luas permukaan terhadap volume yang tinggi. Selain itu, dalam metabolismenya juga menggunakan senyawa organik sebagai substrat

untuk pertumbuhannya (Abdelfattah et al., 2023; Li et al., 2019).

Limbah detergen dari bisnis laundry yang semakin berkembang berpotensi mencemari tanah dan perairan. Beberapa kandungan limbah detergen seperti COD, BOD dan TSS dapat mengganggu biota perairan jika tidak dikelola dengan baik (Ghaly et al., 2021; Kusuma et al., 2019; Zairinayati & Shatriadi, 2019). Bioremediasi merupakan salah satu teknik pengelolaan limbah cair yang banyak dikembangkan karena memiliki banyak keunggulan (Abdelfattah et al., 2023; Li et al., 2019). *Spirulina* juga diketahui dapat dimanfaatkan untuk memproduksi biosurfaktan dari proses bioremediasi detergen (Forlani et al., 2013). Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan proses pengelolaan limbah cair dari detergen khususnya dari bisnis laundry secara mudah dan dengan pendekatan zero waste. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis potensi *Spirulina platensis* sebagai agen remediasi limbah laundry.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif. Data yang diperoleh dianalisis secara statistik dan diinterpretasikan. Data yang disajikan adalah karakteristik limbah laundry setelah diinokulasi dengan kultur *spirulina* meliputi *chemical oxygen demand* (COD), *biochemical oxygen demand* (BOD), dan *total suspended solid* (TSS); biomassa *spirulina* (bobot basah dan bobot kering); dan identifikasi produk intermediet hasil degradasi detergen. Prosedur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penyiapan kultur *Spirulina platensis*

Bibit *spirulina* diperoleh dari PT Alga Bioteknologi Indonesia (ALBITEC). Kultur *spirulina* diaklimatisasi untuk memperoleh *spirulina* yang siap mengolah limbah, ditandai dengan konsentrasi klorofil a sebesar 3.5 mg/L (Nurhayati et al., 2019). *Spirulina* dikulturkan dengan penambahan media Zarraouk (Anggadhanian & Nugroho, 2018), diberi pencahayaan lampu Philips 8 watt dengan rasio nyala:padam sebesar 24:0 jam dalam sehari, dan diaerasi secara terus-menerus. Klorofil a dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer.

2. Pengambilan sampel (sampling) limbah laundry

Limbah laundry diambil dari 3 tempat laundry yang dipilih secara acak di Kecamatan Gunungpati, Kota Semarang. Limbah ini kemudian dihomogenisasi untuk dilakukan pengujian tahap selanjutnya.

3. Inokulasi limbah laundry dengan *spirulina*

Limbah laundry dituangkan ke dalam labu Erlenmeyer kemudian diinokulasikan kultur *spirulina* dengan perbandingan *spirulina* : air limbah laundry (v/v), yaitu kultur A (5:1), B (1:1), dan C (1:5). Perlakuan ini dilakukan sebanyak 3x ulangan. Sebagai kontrol digunakan *spirulina* dengan volume 500 ml tanpa limbah laundry. Pengamatan dilakukan selama 7 hari. Pertumbuhan *spirulina* diamati dari nilai

optical density (OD) yang diukur dengan menggunakan spektrofotometer. Kemudian dibuat grafik pertumbuhan spirulina berdasarkan nilai OD selama proses remediasi tersebut.

4. Analisis karakteristik limbah laundry hasil remediasi

Karakteristik dari limbah laundry yang akan diamati pasca remediasi meliputi COD, BOD, dan TSS. COD perlu dianalisis sebab hal ini penting untuk menunjukkan efektivitas proses pengurangan zat-zat kimia yang terlarut dalam limbah. Analisis COD dilakukan dengan metode APHA 5220 C. Analisis BOD dengan metode tritasi Winkler, hal ini penting juga diketahui karena penurunan nilai BOD yang dihasilkan setelah remediasi akan membuktikan bahwa proses biologis telah berhasil dalam mengurangi beban organik dalam limbah.

Berikutnya, dilakukan analisis TSS menggunakan metode gravimetri. Hal ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar nilai pengendalian partikel padatan dalam limbah tersebut. Analisis ketiga parameter ini bertujuan untuk memonitor dan mengevaluasi efektivitas proses remediasi dalam mengurangi dampak negatif limbah laundry terhadap lingkungan perairan.

5. Pengukuran biomassa spirulina

Spirulina dipanen dengan menggunakan saringan plankton net. Setelah itu ditimbang bobot basah dan bobot keringnya. Penimbangan bobot kering dilakukan dengan cara mengeringkan spirulina ke dalam oven pada suhu 60 °C selama 72 jam.

6. Analisis mikroskopik spirulina

Spirulina yang telah mendegrasi air limbah laundry selanjutnya diamati morfologi selnya menggunakan mikroskop. Untuk memperjelas kondisi permukaan sel spirulina, maka dilakukan pengamatan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM).

7. Identifikasi produk intermediet

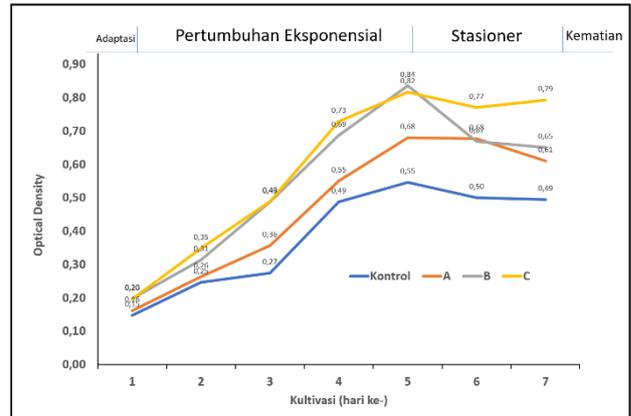
Identifikasi produk intermediet dianalisis menggunakan *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pertumbuhan Spirulina

Spirulina dikulturkan pada media Zarraouk kemudian dipanen saat konsentrasi klorofil a minimal 3.5 mg/L. Ada 3 perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu menginokulasikan *Spirulina platensis* pada limbah laundry dengan perbandingan spirulina : limbah laundry (v/v) yaitu 5:1 (kultur A), 1:1 (kultur B) dan 1:5 (kultur C), dengan kontrol spirulina tanpa limbah. Pertumbuhan spirulina pada limbah laundry diketahui dari nilai OD. Semakin tinggi nilai OD, semakin tinggi pula pertumbuhan spirulina. Secara morfologi, perubahan warna kultur pada media juga terlihat jelas. Pada kultivasi hari pertama, warna kultur terlihat hijau bening. Warnanya terus-

menerus menjadi hijau pekat dari hari ke hari, hal ini menunjukkan bahwa spirulina mengalami pertumbuhan. Grafik pertumbuhan spirulina pada limbah laundry dapat diamati pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Pertumbuhan *Spirulina platensis* yang Dikultivasi dalam Limbah Laundry

Berdasarkan Gambar 1, pertumbuhan spirulina pada limbah laundry menunjukkan pola umum pertumbuhan alga yang terdiri atas 5 fase, yaitu fase adaptasi (lag), fase eksponensial, fase logaritmik, fase stasioner, dan fase kematian. Fase lag semua kultur (A, B, C, dan kontrol) terjadi pada hari ke-0 sampai hari ke-1. Fase lag adalah fase adaptasi spirulina pada lingkungan yang baru. Pertumbuhan sel spirulina relatif konstan dan stabil. Namun fase ini tidak terlihat begitu jelas pada grafik. Hal ini diduga fase lag terjadi dalam waktu yang sangat singkat sehingga tidak terlihat jelas dalam pengamatan selama 24 jam. Hal yang sama diungkapkan oleh Sony et al. (2017) dan Madigan et al. (2018) bahwa kurva pertumbuhan terkadang memperlihatkan pola pertumbuhan yang tidak lengkap. Hal ini bukan karena tidak adanya salah satu fase, tetapi fase tersebut berlangsung sangat cepat sehingga sulit untuk digambarkan.

Fase eksponensial pada semua kultur berlangsung pada hari ke-1 sampai hari ke-4, dan hari ke-4 adalah puncak dari fase eksponensial. Pada fase eksponensial terjadi peningkatan yang signifikan dalam pertumbuhan sel karena spirulina sudah beradaptasi dengan baik pada lingkungan dan mampu memanfaatkan nutrisi secara maksimal untuk pertumbuhannya. Fase eksponensial ditandai dengan naiknya laju pertumbuhan sehingga kepadatan populasi meningkat. OD kultur A meningkat dari 0,16 menjadi 0,68, kultur B dari 0,20 menjadi 0,84, sedangkan kultur C dari 0,20 menjadi 0,82. Demikian pula pada kultur kontrol terjadi peningkatan OD dari 0,15 menjadi 0,55 walaupun menunjukkan pertumbuhan yang paling rendah dibandingkan kultur perlakuan.

Fase logaritmik spirulina terjadi pada hari ke-4 sampai hari ke-5. Fase ini adalah kelanjutan dari fase eksponensial, perbedaan yang tampak nyata adalah turunnya laju pertumbuhan spirulina, meskipun OD kultur tetap bertambah. Fase pertumbuhan spirulina

berlanjut ke fase stasioner. Fase ini berlangsung pada hari ke-5 sampai hari ke-7. Pada fase stasioner pertumbuhan sel terjadi secara lambat karena adanya keseimbangan antara laju pertumbuhan dengan faktor pembatas. Artinya nutrisi pada media kultur sudah berkurang sehingga laju pertumbuhan dan laju kematian sel menjadi seimbang.

Fase terakhir pertumbuhan spirulina adalah fase kematian, berlangsung mulai hari ke-8 hingga hari selanjutnya. Fase ini dapat diketahui dari nilai OD yang semakin lama semakin rendah. Pada fase ini laju kematian lebih tinggi dari laju pertumbuhan. Hal ini disebabkan beberapa faktor, di antaranya nutrisi berkurang/habis, dan akumulasi produk sampingan yang sifatnya beracun. Nutrisi yang jumlahnya berlimpah sudah dimanfaatkan oleh spirulina pada fase lag sampai fase stasioner sehingga sudah sangat berkurang bahkan habis ketika spirulina memasuki fase kematian. Ditambah lagi dengan penumpukan sisa metabolit yang sifatnya beracun bagi sel sehingga membuat spirulina mati akibat produk sampingan tersebut.

Gambar 1 memperlihatkan bahwa grafik pertumbuhan kultur spirulina (berdasarkan nilai OD) dari yang tertinggi sampai yang terendah berturut-turut adalah kultur C, B, A dan kontrol. Kultur kontrol menunjukkan pertumbuhan terendah dari kultur perlakuan karena pada media kultur tidak ditambahkan dengan limbah laundry sehingga nutrisi yang dapat dimanfaatkan hanya berasal dari media kultur bawaan saja. Sementara itu, kultur perlakuan mendapatkan nutrisi tambahan dari limbah laundry dalam media kulturnya. Limbah laundry mengandung linear *alkyl benzene sulfonates* (LAS), *builder sodium tri poli phosphate* (STPP), *carboxyl methyl cellulose* (CMC), kalsium (Ca), fosfor (P), serta pemutih pakaian. Spirulina diduga dapat menggunakan nutrisi yang terkandung di dalam limbah laundry melalui proses biosorpsi senyawa organik pada limbah atau terjadi proses katabolisme dengan cara mendegradasi senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Pemanfaatan unsur makro seperti karbon (C), nitrogen (N) dan fosfor (P) oleh spirulina untuk pertumbuhan dan reproduksi telah dilaporkan dalam banyak penelitian (Singh et al., 2020; Noguera et al., 2018; Wuang et al., 2016).

Di antara 3 macam perlakuan, kultur C (spirulina:limbah = 1:5) menunjukkan pertumbuhan tertinggi dibandingkan kultur A dan B. Hal ini diduga karena kandungan nutrisi dalam limbah laundry berlimpah. Nutrisi tersebut dimanfaatkan oleh spirulina untuk menggandakan diri dengan cepat sehingga memperlihatkan pertumbuhan sel yang signifikan pada fase eksponensial. Sementara kultur B (spirulina:limbah = 1:1) memperlihatkan pertumbuhan yang cukup tinggi namun masih di bawah kultur C. Sedangkan kultur A (spirulina:limbah = 5:1) terkandung jumlah spirulina yang banyak dengan kelimpahan nutrisi yang sedikit, sehingga sel-sel spirulina saling berkompetisi satu sama lain untuk mendapatkan nutrisi dalam jumlah yang terbatas.

Faktor nutrisi diduga menjadi faktor pembatas untuk kultur A, akan tetapi spirulina masih tetap dapat hidup namun menunjukkan pertumbuhan yang paling rendah dari kedua kultur lainnya (kultur B dan C).

3.2. Reduksi COD, BOD, dan TSS

Spirulina platensis telah terbukti efektif dalam mengurangi konsentrasi COD, BOD, dan TSS dalam limbah laundry. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan dalam efisiensi pengolahan antara kultur A, B, dan C (Tabel 1). Berdasarkan Tabel 1, untuk parameter COD, kultur A mencapai reduksi tertinggi sebesar 70,6%, sedangkan kultur B dan C masing-masing 58,9% dan 59,2%. Parameter BOD menunjukkan kultur C dengan reduksi tertinggi sebesar 69,5%, sedangkan kultur A dan B memiliki reduksi 47,3% dan 43,1%. TSS menunjukkan hasil terbaik pada kultur C dengan reduksi sebesar 72,1%, diikuti oleh kultur B (64,3%) dan kultur A (45,1%). Kultur C dengan perbandingan volume *Spirulina platensis* dan limbah laundry 1:5 menunjukkan hasil terbaik dalam pengolahan limbah laundry.

Usaha laundry yang sebagian besar tidak melakukan pengolahan limbah cair diperkirakan akan berkontribusi pada pencemaran sungai (Izzati et al., 2016). Parameter COD dan BOD dapat menjelaskan kandungan oksigen terlarut di dalam air. Konsentrasi COD dan BOD yang tinggi di dalam air dapat mengganggu ekosistem perairan. Peningkatan suhu akibat perubahan iklim juga menambah akumulasi dan peningkatan konsentrasi COD dan BOD di badan air (Chapra et al., 2021; Susilowati et al., 2018). Sementara itu, industri laundry juga diperkirakan telah berkontribusi pada peningkatan konsentrasi COD dan BOD di sungai (Jayanto et al., 2021).

Konsentrasi akhir parameter BOD dan TSS menunjukkan hasil di bawah ambang batas yang ditetapkan di Indonesia, yaitu 10 mg/L untuk BOD dan 50 mg/L untuk TSS. Sementara konsentrasi akhir COD masih melebihi ambang batas yang ditetapkan yaitu 80 mg/L. Meskipun demikian, reduksi tertinggi *Spirulina platensis* terhadap ketiga parameter terjadi pada TSS dan COD. Reduksi COD tinggi karena melibatkan enzim yang dihasilkan spirulina untuk menguraikan senyawa kimia kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Sedangkan reduksi TSS juga tinggi akibat dari penangkapan partikel padat/asing dalam air limbah oleh spirulina dengan mengendapkannya sehingga membantu mengurangi kekeruhan air. Reduksi tersebut sebesar 72,1 TSS pada kultur C dan 70,6% COD pada kultur A. Kinerja ini lebih baik dari penelitian sebelumnya yang menunjukkan reduksi COD sebesar 23% (Cheunbarn et al., 2010), namun sedikit lebih rendah dari beberapa penelitian lainnya yang reduksinya berkisar 75,14%-83% (Patel & Solanki, 2021; Hong & Tanh, 2014).

3.3. Morfologi Spirulina

Pengamatan mikroskopis dilakukan untuk melihat morfologi spirulina yang dikultivasi pada limbah

laundry. Kerangka panduan untuk identifikasi ciri morfologi spirulina dapat dilihat pada Gambar 2. Aspek morfologi yang akan diamati dengan menggunakan mikroskop pada penelitian ini adalah panjang, bentuk, dan tebal filamen. Hasil pengamatan morfologi spirulina dalam meremediasi limbah laundry disajikan pada Gambar 3.

Perbedaan morfologi spirulina dapat diamati dengan jelas pada Gambar 3. Kultur spirulina kontrol (Co) memiliki panjang dan bentuk filamen yang normal sedangkan kultur perlakuan yang dikultivasi dalam limbah laundry tampak lebih pendek dengan bentuk yang abnormal.

Filamen spirulina pada kultur kontrol (Gambar 3 Co) berbentuk heliks teratur dengan sudut helix yang cenderung sama namun mengecil di bagian ujungnya. Filamen kultur kontrol memiliki ukuran yang lebih panjang dibandingkan kontrol perlakuan. Lebar helix tampaknya tidak jauh berbeda dengan kultur lainnya.

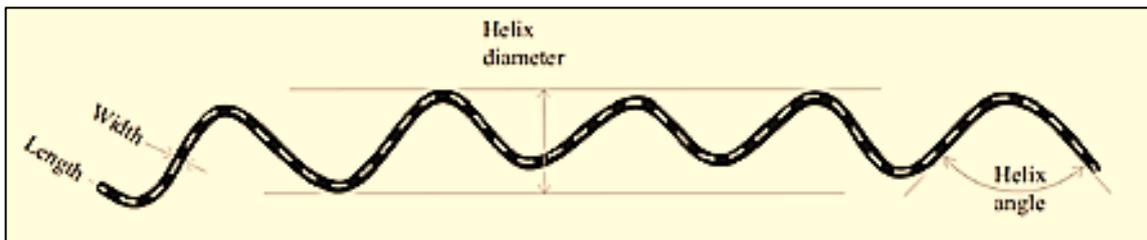
Filamen kultur A, B, dan C lebih pendek dan menunjukkan bentuk yang abnormal. Hal ini diduga disebabkan spirulina mengalami stres akibat tekanan lingkungan, terutama dengan adanya perlakuan limbah laundry. Filamen kultur A, B dan C terlihat lebih pendek dan lonjong. Perubahan fisik yang terjadi pada spirulina menunjukkan mekanisme adaptasi morfologi dan fisiologi terhadap perubahan lingkungan yang terjadi. Selama spirulina masih bisa hidup, berarti kondisi lingkungan masih bisa ditoleransi. Bentuk helix pada kultur A (Gambar 3A) terlihat tidak beraturan dengan sudut helix yang

berbeda-beda, diameter helixpun tampak tidak sama antara helix satu dengan lainnya, bahkan ada bagian filamen yang melengkung. Sementara itu, kultur B dan C (Gambar 3B dan 3C) hampir menunjukkan persamaan secara morfologi. Bentuk filamennya melengkung dan nyaris tidak berbentuk helix, bahkan salah satu filamen kultur C bentuknya hampir linier.

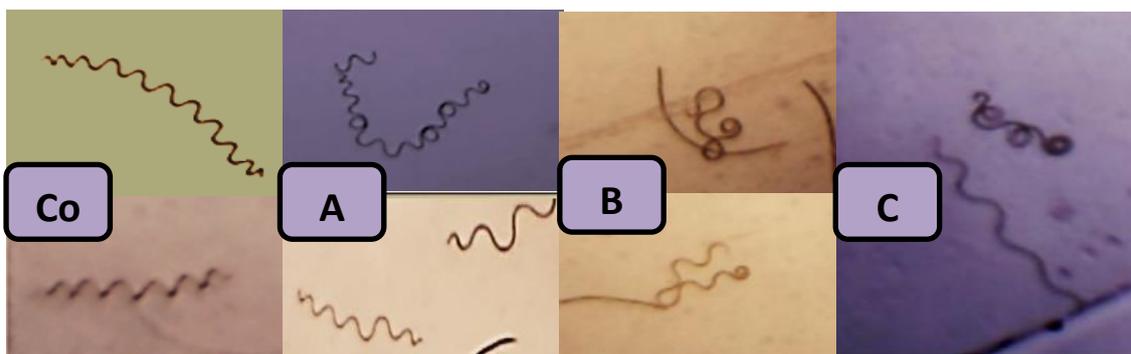
Selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap permukaan sel spirulina dalam meremediasi limbah laundry dengan menggunakan SEM. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 terdapat perbedaan signifikan pada permukaan sel spirulina kultur kontrol dan perlakuan. Permukaan sel spirulina kultur kontrol tampak normal dengan ciri-ciri permukaan sel tidak beraturan, kasar dan terlihat banyak pori dengan ukuran yang bervariasi (Gambar 4 Co). Pori pada dinding sel spirulina tersebut berfungsi sebagai biosorpsi yaitu menyerap zat-zat polutan pada permukaan selnya (Dolatabadi & Hosseini, 2016). Normalnya kondisi permukaan sel spirulina kultur kontrol ini disebabkan karena tidak adanya aktivitas biosorpsi senyawa kompleks pada limbah laundry. Beda halnya dengan kultur perlakuan. Permukaan sel kultur A, B, dan C menunjukkan banyak kerusakan pada selnya seperti terpecah, kasar dan banyaknya agregat yang menempel (Gambar 4A, 4B, dan 4C). Hal ini diduga karena adanya aktivitas spirulina dalam meremediasi limbah laundry sehingga air limbah tersebut berkurang toksisitasnya.

Tabel 1. Reduksi COD, BOD, dan TSS oleh *Spirulina platensis*

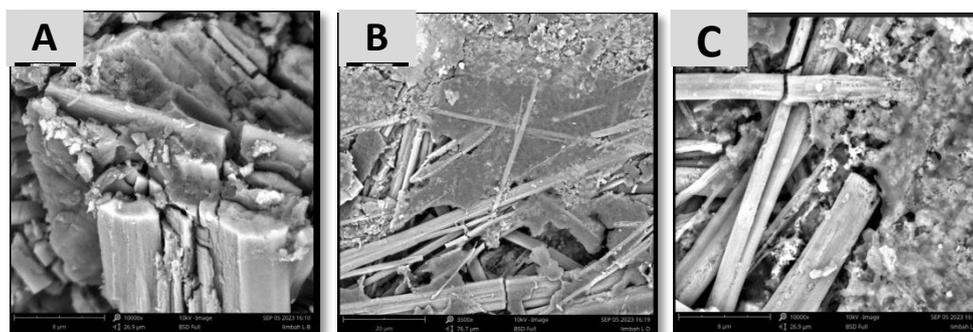
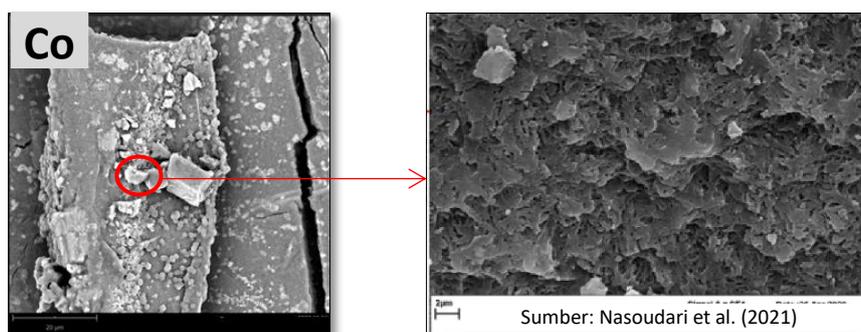
Parameter	Konsentrasi Awal	Konsentrasi Akhir					
		Kultur A	Reduksi (%)	Kultur B	Reduksi (%)	Kultur C	Reduksi (%)
COD (mg/L)	419 ± 3,61	123 ± 3,00	70,6	172 ± 1,73	58,9	171 ± 2,65	59,2
BOD (mg/L)	5,56 ± 0,02	2,93 ± 0,06	47,3	3,17 ± 0,02	43,1	1,70 ± 0,02	69,5
TSS (mg/L)	0,30 ± 0,03	0,16 ± 0,02	45,1	0,11 ± 0,01	64,3	0,08 ± 0,01	72,1



Gambar 2. Kerangka Panduan untuk Identifikasi Ciri Morfologi *Spirulina platensis* (Sumber: Zapata et al., 2021)



Gambar 3. Hasil Pengamatan Mikroskopis Morfologi *Spirulina platensis* dalam Meremediasi Limbah Laundry: (Co) Kultur Kontrol, (A) Kultur A, (B) Kultur B, dan (C) Kultur C



Gambar 4. Permukaan Sel *Spirulina platensis* yang Diamati dengan Menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dalam Meremediasi Limbah Laundry: (Co) Kultur Kontrol, (A) Kultur A, (B) Kultur B, dan (C) Kultur C

Tabel 2. Biomassa *Spirulina platensis* (Bobot Basah dan Bobot Kering) yang Dikultivasi pada Berbagai Macam Konsentrasi Limbah Laundry

Kultur	Bobot basah (g)	Bobot kering (g)	Pengurangan air	Persentase reduksi
Kontrol	5,7045	0,5793	5,1252	90%
A	6,3768	0,7061	5,6707	89%
B	4,9914	0,5423	4,4491	89%
C	5,5423	0,495	5,0473	91%

3.4. Biomassa Spirulina

Kultur spirulina setelah meremediasi limbah laundry dipanen untuk menentukan biomasanya. Biomassa spirulina diperlihatkan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 bobot basah spirulina tertinggi dihasilkan oleh kultur A (6,3768 g) diikuti oleh kultur kontrol (5,7045 g), kultur C (5,5423 g), dan terendah kultur B (4,9914 g). Bobot kering yang dihasilkan setelah spirulina dioven pada suhu 60 °C selama 72 jam menunjukkan reduksi berat spirulina berkisar 89-91%. Berat kering spirulina kultur A tetap yang tertinggi (0,7061 g), diikuti oleh kultur kontrol (0,5793 g), kultur B (0,5423 g), dan kultur C (0,495 g). Dari data ini terlihat bahwa meskipun pertumbuhan kultur B dan C termasuk yang tercepat, namun bobot basahnya menjadi yang paling rendah dibandingkan kultur lainnya.

Menurut Zapata et al. (2021) media kultur dan intensitas cahaya memiliki pengaruh yang signifikan terhadap biomassa spirulina. Akumulasi senyawa limbah laundry pada permukaan sel spirulina diduga menjadi penyebab rendahnya bobot basah spirulina kultur B dan C. Pada awalnya pertumbuhan sel memang lebih tinggi pada kultur B dan C namun saat mendekati fase akhir pertumbuhan, akumulasi senyawa dalam limbah laundry bersifat racun bagi spirulina sehingga sel akan mati dan menurun bobot basahnya. Dosis limbah laundry yang bervariasi

diduga menyebabkan respon yang berbeda pada masing-masing kultur. Dalam penelitian ini, perbedaan intensitas cahaya bukan merupakan bagian dari perlakuan, melainkan semua kultur diberi intensitas cahaya yang sama menggunakan lampu tabung 8 watt merk Philips. Zapata et al. (2021) melaporkan bahwa intensitas cahaya adalah faktor kunci produksi biomassa. Hal ini dikarenakan laju fotosintesis meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya selama tidak ada faktor pembatas pada media kultur.

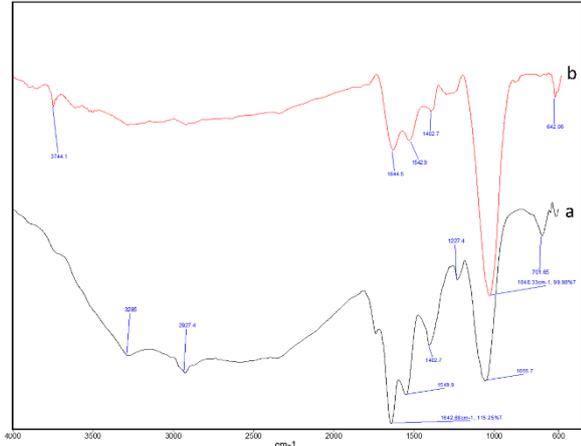
3.5. Uji FTIR

Pengujian FTIR berguna untuk mengetahui kandungan senyawa kimia pada spirulina setelah diberi perlakuan. FTIR dipilih karena dalam proses pengujiannya dibutuhkan material padat dan kering, serta dapat merepresentasikan hasil perlakuan. Hasil uji FTIR ditampilkan pada Gambar 5 sedangkan perubahan gugus fungsi pada *Spirulina platensis* tanpa remediasi dan dengan remediasi disajikan pada Tabel 3.

Pita serapan O-H pada spektrum (b) muncul pada frekuensi yang lebih tinggi (3744.1 cm⁻¹) dibandingkan dengan spektrum (a) (3285 cm⁻¹). Artinya menunjukkan adanya perubahan pada gugus hidroksil, ini terkait dengan ikatan hidrogen atau perubahan keadaan fisik. Pita Serapan C=C atau

Konjugasi Pi ditandai dengan frekuensi (a) 1642,68 dan 1549,9 cm^{-1} serta (b) 1644,5 dan 1542,9 cm^{-1} .

Frekuensi pita serapan ini tidak mengalami perubahan yang signifikan antara spektrum (a) dan (b). Ini menunjukkan bahwa ikatan rangkap ganda atau konjugasi pi diduga tidak banyak berubah selama reaksi adsorpsi.



Gambar 5. Spektra FTIR (a) *Spirulina platensis* Tanpa Proses Remediasi (b) *Spirulina platensis* dengan Proses Remediasi Limbah Laundry

Tabel 3. Gugus Fungsi *Spirulina platensis* Tanpa dan Dengan Remediasi

No	Panjang Gelombang (cm^{-1})		Gugus Fungsi
	Tanpa Remediasi	Dengan Remediasi	
1	3285	3744	O-H
2	2927,4	-	C-H Alifatik
3	1642,68	1644,5	C=C Konjugasi Pi
4	1549,9	1542,9	C=C Konjugasi Pi
5	1402,7	14027	CH ³ Simetris
6	1227,4	-	C-O eter/ester
7	1055,7	1048,33	C-O
8	701,65	642,06	C-H Out-of-Plane

Pita Serapan CH³ Simetris dicirikan dengan frekuensi (a) dan (b) yang sama yaitu 1402,7 cm^{-1} . Pita serapan ini terdeteksi pada kedua spektrum, menunjukkan bahwa gugus CH³ masih hadir setelah reaksi adsorpsi. Pita serapan C-O pada spektrum (b) muncul pada frekuensi yang sedikit lebih tinggi (1048,33 cm^{-1}) dibandingkan dengan spektrum (a) (1055,7 cm^{-1}). Ini menunjukkan adanya perubahan pada gugus karbonil (C=O), mungkin terkait dengan perubahan ikatan atau struktur kimia. Pita serapan ini mengalami perubahan frekuensi yang signifikan antara spektrum (b) (642,06 cm^{-1}) dan (a) (701,65 cm^{-1}). Ini menunjukkan adanya perubahan pada ikatan C-H, diduga terkait dengan perubahan struktur kimia atau lingkungan molekuler.

Puncak pada 2927,4 cm^{-1} merupakan indikasi dari ikatan C-H pada rantai hidrokarbon alifatik atau alkil yang jenuh. Pita ini terlihat dalam spektrum (a) namun tidak muncul pada spektrum (b), itu menunjukkan bahwa ada kemungkinan terjadinya perubahan dalam struktur rantai hidrokarbon tersebut selama reaksi. Demikian pula puncak pada 1227,4 cm^{-1} yang terlihat pada spektrum (a) dapat

dikaitkan dengan ikatan C-O, terutama dalam senyawa seperti eter atau ester. Namun puncak ini tidak terlihat dalam spektrum (b), itu menunjukkan bahwa ada kemungkinan terjadi perubahan atau pengurangan ikatan C-O selama reaksi adsorpsi.

4. KESIMPULAN

Spirulina platensis berpotensi sebagai agen bioremediasi air limbah laundry karena kemampuannya dalam mereduksi parameter pencemaran air berupa COD, BOD, dan TSS. Kinerja terbaik remediasi terjadi pada kultur C dengan reduksi COD, BOD, dan TSS masing-masing 59,2; 69,5; dan 72,1%. Morfologi spirulina setelah meremediasi limbah laundry terlihat lebih pendek dengan bentuk yang abnormal. Permukaan selnya menjadi rusak seperti terpecah, kasar dan banyaknya agregat yang menempel. Hasil pengukuran biomassa menunjukkan bobot basah tertinggi dihasilkan oleh kultur A (6,3768 g) diikuti oleh kultur C (5,5423 g) dan B (4,9914 g) dengan reduksi berat berkisar 89-91%. Pada pengujian FTIR didapatkan hasil bahwa telah terjadi perubahan senyawa kimia yang terkandung di dalam spirulina.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada FMIPA UNNES atas skema pendanaan penelitian DPA LPPM UNNES Tahun 2023 Nomor: 22.7.7/UN37/PPK.04/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelfattah, A., Ali, S. S., Ramadan, H., El-Aswar, E. I., Eltawab, R., Ho, S-H., Elsamahy, T., Li, S., El-Sheekh, M. M., Schagerl, M., Kornaros, M., & Sun, J. (2023). Microalgae-based wastewater treatment: Mechanisms, challenges, recent advances, and future prospects. *Environmental Science and Ecotechnology*, 13(2023): 100205, <https://doi.org/10.1016/j.ese.2022.100205>.
- Anggadhania, L., & Nugroho, A. P. (2018). Efek laju karbondioksida (CO²) terhadap morfologi dan laju pertumbuhan populasi *Spirulina platensis* (Gomont). *Jurnal Penelitian Kehutanan Faloak* 1(2): 75-84.
- Chapra, S. C., Camacho, L. A., & McBride, G. B. (2021). Impact of global warming on dissolved oxygen and BOD assimilative capacity of the world's rivers: Modeling analysis. *Water*, 13(17), 2408.
- Cheunbarn, S., & Peerapornpisal, Y. J. I. J. A. B. (2010). Cultivation of *Spirulina platensis* using anaerobically swine wastewater treatment effluent. *Int. J. Agric. Biol.*, 12(4), 586-590.
- Cirne, D.G., Bjornsson, L., Alves, M., and Mattiasson, B. (2006). Effects of bioaugmentation by an anaerobic lipolytic bacterium on anaerobic digestion of lipid-rich waste. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81(2006): 1745-1752, <https://doi.org/10.1002/jctb.1597>.
- Dolatabadi S. & Hosseini, S. A. (2016). Wastewater treatment using *Spirula platensis*. *Journal of Chemical, Biological, and Physical Sciences*, 6(4): 1239-1246.
- Forlani, G., Bertazzini, M., Giberti, S., Wiczorek, D., Kafarski, P., and Lipok, J. (2013). Sublethal detergent concentrations increase metabolization of recalcitrant

- Jabbar, A., Amalia, A. V., Haris, A., Dewi, N. R., Falasifah, dan Abdullatif, M. (2024). Potensi *Spirulina platensis* sebagai Agen Remediasi Air Limbah Laundry. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(5), 1224-1231, doi:10.14710/jil.22.5.1224-1231
- polyphosphonates by the cyanobacterium *Spirulina platensis*. *Environ Sci Pollut Res*, 20(2013): 3263-3270. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1253-x>
- Ghaly, A.E., Mahmoud, N. S., Ibrahim, M. M., Mostafa, E. A., Abdelrahman, E. N., Emam, R. H., Kassem, M. and Hatem M. H. (2021). Greywater Sources, Characteristics, Utilization and Management Guidelines. *Adn Envi Was Mana Rec*, 4 (2):128-145.
- Heong, K.-L., Lu, Z.-X., Chien, H.-V., Escalada, M., Settele, J., Zhu, Z.-R., Cheng, J.-A. (2021). Ecological Engineering for Rice Insect Pest Management: The Need to Communicate Widely, Improve Farmers' Ecological Literacy and Policy Reforms to Sustain Adoption. *Agronomy*, 11(11): 2208. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112208>.
- Hong, L. T. & Thanh, L. M. (2014). Wastewater treatment using spirulina platensis at TH truemilk dairy farm - Nghia Dan district - Nghe An province. *Khon Kaen Agr. J*, 42(4), 73-78.
- Izzati, T., Wuryandari, N. E. R., Ayudia, S., & Triyadi, F. (2016). An Initial Study Of Laundry Industrial Effects To The Water Pollution In Bekasi. *IOSR Journal of Business and Management*, 18(8): 109-111.
- Jayanto, G. D., Widyastuti, M., & Hadi, M. P. (2021). Laundry wastewater characteristics and their relationship with river water quality as an indicator of water pollution. Case study: Code Watershed, Yogyakarta. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 325, p. 02011). EDP Sciences.
- Kusuma, D. A., Fitria, L., & Kadaria, U. (2019). Pengolahan Limbah Laundry Dengan Metode Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbr). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 7(1): 001-010.
- Li, J., Wang, X., Wang, J., Li, Y., Xia, S., Zhao, J. (2019). Simultaneous recovery of microalgae, ammonium, and phosphate from simulated wastewater by MgO modified diatomite. *Chemical Engineering Journal*, 362(2019): 802-811. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.094>.
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. S., & Stahl, D. A. (2018). *Brock Biology of Microorganisms*. 15th Ed. Inc. New Jersey: Prentice-Hall International.
- McAllister, T. A., Topp, E. (2012). Role of livestock in microbiological contamination of water: Commonly the blame, but not always the source, *Animal Frontiers*, 2(2): 17-27, <https://doi.org/10.2527/af.2012-0039>.
- Nasoudari E, Ameri M, Shams M, Ghavami V & Bonyadi Z. (2021). The biosorption on Alizarin Red S by *Spirulina platensis*; process modelling optimisation, kinetic and isotherm studies. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. Doi: 10.1080/03067319.2020.1862814.
- Nogueira, A. M. S., Junior, J. S., Maia, H. D., Saboya, J. P. S. & Farias, W. R. L. F. (2018). Use of *Spirulina platensis* in treatment of fish farming wastewater. *Revista Ciencia Agronomica*, 49(4): 599-606. Doi: 10.5935/1806-6690.20180068.
- Nurhayati, I., Ratnawati, R., & Sugito. (2019). Effect of potassium and carbon addition on bacterial algae bioremediation of boezem water. *Environmental Engineering Research*, 24(3): 495-500.
- Patel, H. B., & Solanki, H. A. (2021). Treatment of Textile Dye Wastewater using Cyanobacteria *Spirulina Sp.* *J Sci Res Sci & Technol*, 8(5), 142-156.
- Sayadi, M. H., Ahmadvour, N., Fallahi Capoorchali, M., & Rezaei, M. R. (2016). Removal of nitrate and phosphate from aqueous solutions by microalgae: An experimental study. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(4): 357-364.
- Singh, D. V., Bhat, R. A., Upadhyay, A. K., Singh, R. & Singh, DP. (2020). Microalgae in aquatic environs: A sustainable approach for remediation of heavy metals and emerging contaminants. *Environmental Technology & Innovation*, 21(2021). Doi <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101340>.
- Soni, R. A., Shudakar, K., & Rana, R. S. (2017). *Spirulina* – From growth to nutritional product: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 69(2017): 157-171. Doi <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.010>.
- Susilowati, S., Sutrisno, J., Masykuri, M., & Maridi, M. (2018, December). Dynamics and factors that affects DO-BOD concentrations of Madiun River. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2049, No. 1). AIP Publishing.
- Touliabah HE, El-Sheekh MM, Ismail MM, El-Kassas H. A. (2022). Review of Microalgae- and Cyanobacteria-Based Biodegradation of Organic Pollutants. *Molecules*, 27(3):1141. <https://doi.org/10.3390/molecules27031141>.
- Wuang, S. C., Khin, M. C., Chua, P. Q. D., Luo, Y. D. (2016). Use of *Spirulina* biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers. *Algal Research*, 15(2016): 59-64. Doi <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.02.009>.
- Zairinayati, Z. R., & Shatriadi, H. (2019). Biodegradasi Fosfat pada Limbah Laundry menggunakan Bakteri Consorium Pelarut Fosfat. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 18(1): 57-61.
- Zapata D, Arroyave C, Cardona L, Aristizabal A, Poschenrieder C, & Llugany M. (2021). Phytohormone production and morphology of *Spirulina platensis* grown in dairy wastewaters. *Algal Research*, 59 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102469>.