

**PERTUMBUHAN MIKROALGA SPIRULINA (*Arthrospira platensis*)
DALAM TEKANAN STIROFOAM PADA LINGKUNGAN AIR TAWAR**

Amnan Haris^{1*}, Hadiyanto², Fuad Muhammad³

¹Program studi Ilmu Lingkungan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Semarang, Kota Semarang

²Program studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro,
Kota Semarang

³Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro,
Kota Semarang

*E-mail korespondensi : amnanharis@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Styrofoam sering kita jumpai sebagai sampah yang mencemari badan air. Biota air ada berbagai jenis, salah satunya adalah spirulina yang termasuk jenis mikroalga. Tujuan penelitian adalah menganalisis pertumbuhan spirulina di bawah tekanan styrofoam dan perubahan gugus fungsi styrofoam. Metode penelitian yaitu kultur dilakukan dalam air-tawar (0 ppt) selama 30 hari dan dicek pertumbuhannya melalui kerapatan massa (*Optical density*) kemudian diuji Kruskal-Wallis menggunakan aplikasi SPSS 25. Styrofoam diuji FTIR. Hasil penelitian menunjukkan laju pertumbuhan tertinggi spirulina pada kultur yang diberi perlakuan styrofoam 150 mg, yaitu sebesar $y = 0,0705x$. Analisis FTIR menunjukkan telah terjadi perubahan gugus fungsi pada styrofoam yaitu gugus alkohol (-COOH) pada panjang gelombang $3400-3200 \text{ cm}^{-1}$ dan ada rantai siklik yang terbuka (muncul peak pada panjang gelombang $1680-1600 \text{ cm}^{-1}$). Keberadaan unsur anorganik lain membuktikan spirulina mampu menyerap kontaminan.

Kata kunci : Biodegradasi; FTIR; Mikroplastik; Spirulina; Styrofoam

PENDAHULUAN

Spirulina adalah salah satu jenis mikroalga yang berwarna hijau kebiruan, mempunyai bentuk tubuh benang (*filament*) berpilin menyerupai spiral (*helix*), tidak bercabang, berukuran 1-12 mikrometer, biasanya hidup berkoloni. Aktif bergerak (*motil*) dengan merotasikan tubuhnya. Habitatnya di air tawar, biasanya di perairan yang belum tercemar (Hariyati, 2008).

Mikroalga merupakan sejenis makhluk hidup bersel satu (uniseluler) yang tinggal di air, mulai air tawar sampai air laut. Mikroalga dikenal juga dengan istilah fitoplankton karena mempunyai kemiripan dengan tumbuhan tingkat tinggi meskipun tidak mempunyai akar, batang dan daun. Kemiripan tersebut adalah kemampuan mikroalga untuk berfotosintesis (autotrof), sehingga mikroalga mampu berperan sebagai produsen dalam jaring-jaring makanan di lingkungan perairan. Mikroalga mampu mengubah energi cahaya dan karbon dioksida (CO₂) menjadi oksigen dan biomassa seperti karbohidrat dan lipid. Mikroalga mempunyai kemampuan mengubah energi matahari dan karbon dioksida (CO₂) menjadi biomassa secara lebih efisien dibandingkan tumbuhan tingkat tinggi karena memiliki struktur seluler yang lebih sederhana. Salah satu sumber karbon bisa diperoleh dari styrofoam (Hadiyanto dan Azim, 2012)

Salah satu produk plastik yang berkode 6 akrab kita kenal dengan istilah styrofoam atau Polistirena (PS). Styrofoam sendiri merupakan merk dagang dari suatu produk berbahan dasar minyak bumi yang diproduksi oleh Dow Chemical Company. Sampai sekarang, Styrofoam masih dijual bebas di toko, warung bahkan supermarket. Styrofoam banyak digunakan sebagai penahan guncangan pada kemasan alat elektronik seperti televisi, kulkas dan mesin cuci serta wadah makanan dan minuman. Pasca pemakaian, styrofoam ini akan dibuang meskipun kondisinya masih bagus. Konsumen seringkali tidak tahu bahwa styrofoam membutuhkan waktu yang lama untuk terdegradasi dengan sempurna (Chandra et al., 2016). Styrofoam bersifat ringan karena 95% nya berupa udara, sehingga membuatnya tidak bisa tenggelam (Hadiyanto et al., 2021).

Styrofoam bisa didaur ulang, namun biaya yang mahal dan prosesnya yang rumit seperti harus membersihkan styrofoam dari sisa makanan, membuat produsen lebih memilih memproduksi styrofoam baru daripada mendaur ulangnya (Ho, Roberts and Lucas, 2018). Biaya produksi styrofoam juga relatif murah sehingga upaya *reduce*, *reuse* dan *recycle* tidak menghasilkan keuntungan yang berarti (Chandra et al., 2016).

Lingkungan perairan bisa dijumpai mulai dari sumber mata air sampai dengan laut. Berdasarkan salinitasnya, perairan dapat dibedakan menjadi air tawar, payau dan asin (Astuti, Jamali and Amin, 2007). Air tawar bisa ditemukan mulai dari sumber mata air sampai muara sungai. Biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, irigasi dan industri (Sjollema et al., 2016)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pertumbuhan spirulina di bawah tekanan styrofoam dan perubahan gugus fungsi yang terjadi pada styrofoam. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna untuk memperbarui pengetahuan yang berkaitan dengan toksisitas polistirena dengan dosis yang berbeda di lingkungan perairan.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juli - Oktober 2020 di Laboratorium *Center of Biomass and Renewable Energy* (C-BIORE), UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang.

Parameter Penelitian

Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi 3 hal yaitu mikroalga, styrofoam dan kualitas air. Parameter mikroalga meliputi kepadatan populasi dan laju pertumbuhan spirulina yang dikultivasi dengan gangguan styrofoam. Parameter styrofoam yang diamati

meliputi struktur dan komposisi stirofoam. Parameter kualitas lingkungan yang diamati meliputi kadar Oksigen terlarut (DO), pH, salinitas, dan temperatur yang diukur setiap hari selama penelitian.

Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) (Sajdak, 2018). Percobaan menggunakan perlakuan kombinasi dua faktor. Faktor yang pertama yaitu kadar massa stirofoam (M) : 150 mg, 250 mg dan 400 mg; dan faktor kedua yaitu salinitas (S) yang diatur 0 ppt. Setiap perlakuan dilakukan ulangan sebanyak 3 kali. Masing-masing bejana kultur yang telah diberi label perlakuan disusun di atas rak. Kemudian dilakukan pengacakan tata letak bejana kultur dengan tujuan agar setiap perlakuan mendapatkan kesempatan yang sama dalam memperoleh cahaya maupun aerasi yang ada.

Prosedur Penelitian

1. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan penelitian diawali dengan sterilisasi alat. Sterilisasi bertujuan untuk menghilangkan atau meminimalisir keberadaan kontaminan pada alat dan media kultur. Sterilisasi dilakukan dengan cara mencuci semua alat yang berupa bejana kultur, selang aerator dan pipet tetes menggunakan sabun dibilas dengan air, Peralatan ditiriskan di atas meja yang sudah disemprot alkohol dan dilapisi tissue atau serbet.

2. Penebaran Inokulum spirulina

Bibit spirulina diperoleh dari laboratorium C-Biore Undip. Stok kultur spirulina diambil sebanyak 250 ml kemudian diencerkan dengan aquades sebanyak 250 ml. Sampel diambil dan dimasukkan ke dalam kuvet untuk diamati kepadatan awalnya menggunakan spektrofotometer SP-300 Optima. Spirulina dimasukkan ke dalam bejana kultur yang berupa labu erlenmeyer 500 mL. Media kultur diberi aerasi dengan pompa udara AMARA BS-410 dan disinari lampu *tube lamp* Philips 8W. Labu erlenmeyer ditutup dengan plastik wrap untuk mencegah benda asing masuk ke dalam kultur.

3. Pemberian nutrisi

Kultur spirulina diberi nutrisi untuk mendukung kehidupan spirulina. Pada saat awal kultur, nutrisi yang diberikan yaitu Triple Super Phosphate (TSP) yang mengandung $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$ 15 mg/L, urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) 70 mg/L dan NaHCO_3 1 g/L. Selama 30 hari, kultur diberi nutrisi urea setiap 2 hari sekali.

4. Penyiapan Sampel Stirofoam

Sampel Stirofoam berupa butiran diperoleh dari CV. Mitra Sejati Faomindo Genuk Semarang. Butiran stirofoam ditimbang massanya yaitu : 150 mg, 250 mg dan 400 mg dengan pengulangan 3 kali, Butiran stirofoam dicuci dengan aquades dan etanol secara bergantian, kemudian dikeringkan dalam temperatur ruangan selama 24 jam. Sampel stirofoam diuji FTIR untuk mengetahui kondisi awal sebelum berinteraksi dengan spirulina. Sampel stirofoam yang diambil berupa stirofoam yang dicuci dengan aquades saja, dan stirofoam yang dicuci dengan aquades dan etanol, masing-masing sebanyak 12 butir. Stirofoam yang sudah dikering-anginkan dimasukkan ke dalam bejana kultur yang berisi spirulina.

5. Penghitungan kepadatan spirulina

Kepadatan spirulina dihitung *optical density*-nya dengan menggunakan spektrofotometer SP-300 Optima pada panjang gelombang 680 nm. Cara penggunaan spektrofotometer yaitu kuvet dibersihkan dan dikeringkan terlebih dahulu dengan menggunakan tissue. Spirulina diambil dengan menggunakan pipet tetes kemudian diteteskan ke dalam kuvet hingga sampai batas atas kuvet. Penetasan dilakukan dengan hati-hati supaya tidak terdapat gelembung udara. Penghitungan kepadatan populasi dilakukan setiap 24 jam sekali, mulai t_0 (hari ke-0) hingga t_{30} (hari ke-30). Kuvet kemudian dimasukkan ke dalam spektrofotometer. Hasil uji

yang berupa absorbansi dan transmittansi dibuat kurva baku sehingga bisa diketahui kepadatan selnya (Sastrohamidjojo, 2019).

6. Penghitungan Laju Pertumbuhan Populasi Spesifik

Laju pertumbuhan spesifik (μ) spirulina dihitung dengan menggunakan rumus (Fakhri et al., 2020) yaitu :

$$\mu = \frac{\ln X_n - \ln X_0}{T_n - T_0}$$

Keterangan :

μ : Laju pertumbuhan spesifik

X_0 : Kepadatan awal mikroalga

X_n : Kepadatan mikroalga pada waktu t

T_n : Waktu akhir pengamatan

T_0 : Waktu awal

dimana $\ln \Delta N$ adalah logaritma natural dari *optical density* dan t adalah waktu pengamatan spirulina. Penentuan laju pertumbuhan spirulina dengan melakukan *ploting axis y = \ln X_n - \ln X_0* dan *axis x = \Delta T*.

7. Pengukuran Kualitas Air

Pengukuran kualitas air selama penelitian meliputi temperatur, pH, oksigen terlarut (DO) dan salinitas. Pengukuran temperatur dan oksigen terlarut menggunakan DO meter yang dimasukkan ke dalam bejana kultur, kemudian diamati nilai yang muncul pada layar DO meter. Pengukuran pH menggunakan pH meter yang dimasukkan ke dalam bejana kultur, kemudian diamati nilai yang muncul pada layar pH meter. Pengukuran salinitas menggunakan refraktometer. Pengukuran kualitas air diperlukan untuk mengetahui faktor pembatas mikroalga selama pertumbuhan.

8. Pemanenan spirulina

Pemanenan spirulina dilakukan pada hari ke-24 kultur. Pemanenan mikroalga dilakukan dengan metode filtrasi, yaitu menggunakan membran ultrafiltrasi. Ukuran porinya berkisar 0,01 mm – 1 nm. Sebelum panen, stirofoam dipisahkan terlebih dahulu dan dikeringkan. Pemanenan dilakukan dengan cara menuang labu erlenmeyer yang berisi kultur ke dalam corong yang dilapisi membran ultrafiltrasi. Gelas beker 1 L digunakan untuk menampung air yang lolos penyaringan. Sampel stirofoam diambil secara acak untuk diuji FTIR. Sampel dibungkus plastik klip dan dianalisis di Laboratorium Terpadu Undip.

9. Uji FTIR

Pengujian FTIR dilakukan pada spirulina pasca kultur dan stirofoam sebelum dan sesudah kultur selama 30 hari. Caranya stirofoam terlebih dahulu dicampur dengan UATR dan dihaluskan dengan *mortar agate*. Bagian *sample base* dan *tablet frame* yang berfungsi sebagai cetakan pelet dicuci dengan kloroform. Sampel dimasukkan dalam set cetakan pelet. Untuk meminimalkan air, pelet dimasukkan ke dalam pompa vacum selama 5 menit. Pelet ditempatkan pada tablet holder. Kemudian diuji dengan FTIR yang terhubung dengan komputer. Hasil pengujian FTIR berupa spektra yang mempunyai puncak (*peak*) tertentu (Mohamed et al., 2017). Pengujian sampel menggunakan jasa analisis yang tersedia di laboratorium terpadu Undip.

Analisis Data

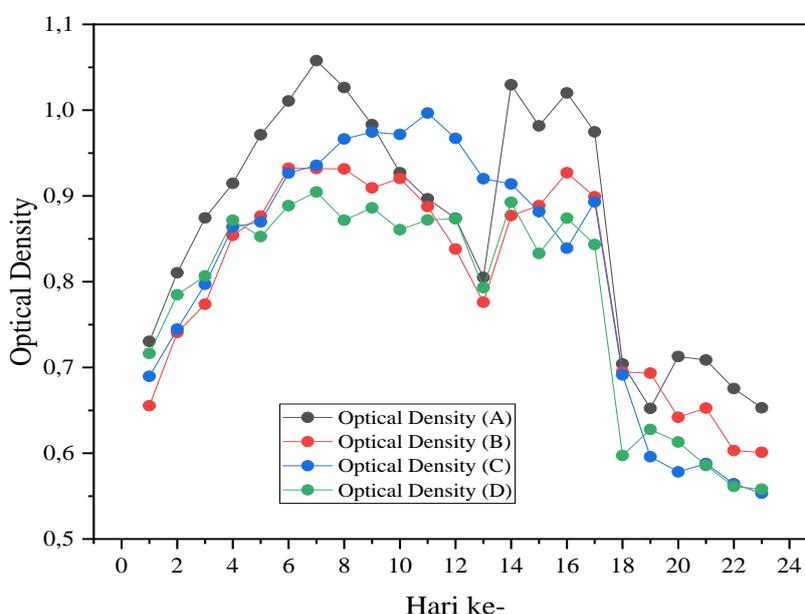
Data hasil penelitian yang berupa laju pertumbuhan spirulina dianalisis statistik menggunakan aplikasi SPSS versi 25. Jika data memenuhi asumsi normalitas, maka analisis yang digunakan adalah *one way ANNOVA* dengan taraf kepercayaan 95%, dilakukan uji lanjut dengan uji Duncan apabila terdapat beda nyata. Namun jika data tidak memenuhi asumsi normalitas, maka digunakan analisis Kruskal Wallis.

Data hasil analisis FTIR dari stirofoam sebelum dan sesudah kultur dibandingkan dan diamati perbedaan gugus fungsi dan ikatan molekulnya. Data tersebut dianalisis untuk mengetahui adanya degradasi pada stirofoam, kemudian dikaitkan dengan pertumbuhan spirulina.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan Spirulina

Kultur spirulina dilakukan tanpa penambahan garam. Tujuannya untuk mempertahankan kondisi airnya supaya tetap tawar. Menurut (Astuti, Jamali and Amin, 2007) air tawar memiliki salinitas 0 – 0,5 ppt. Menurut (Hadiyanto dan Azim, 2012), pertumbuhan spirulina dapat diukur melalui kerapatan massanya (*Optical density*). Grafik pertumbuhan spirulina dalam kultur air tawar dengan perlakuan stirofoam dapat dilihat pada gambar 14

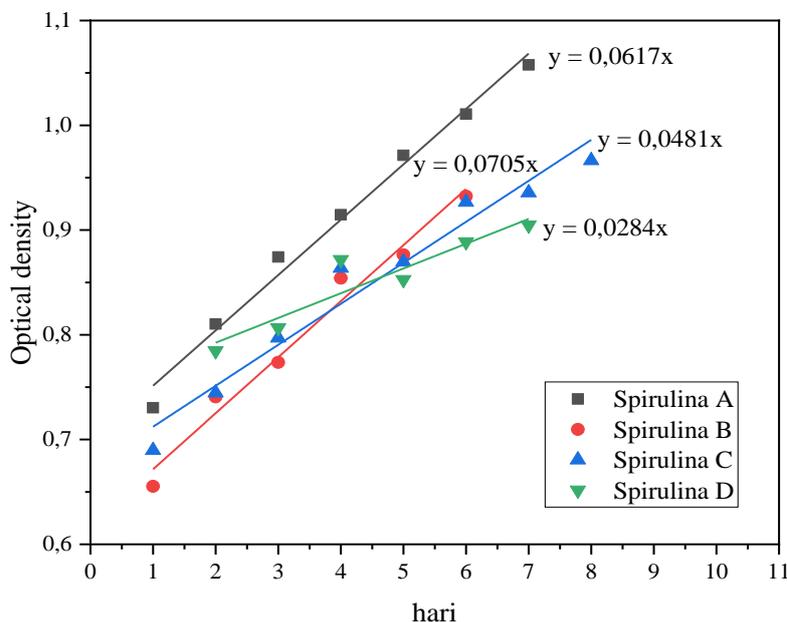


Gambar 1 Pertumbuhan Spirulina Kultur Air Tawar pada tiap Perlakuan

Pemberian perlakuan stirofoam berdampak pada laju pertumbuhan spirulina. Hal ini karena keberadaan stirofoam memberikan efek bayang-bayang (*shading*) pada permukaan kultur sehingga mengurangi intensitas cahaya yang dapat digunakan oleh spirulina untuk berfotosintesis (Sjollema et al., 2016). Pada kultur air tawar, spirulina masih mampu mentolerir keberadaan stirofoam bahkan sampai 400 mg, meskipun berdampak pada penurunan nilai *optical density* spirulina tersebut.

Pada gambar 14 terdapat suatu titik yang menunjukkan peningkatan nilai *optical density* yang ekstrem, yaitu kultur A pada hari ke-6 dari 0,73 menjadi 1,06; kultur B pada hari ke-6 dari 0,66 menjadi 0,93; kultur C pada hari ke-10 dari 0,69 menjadi 1,00; kultur D pada hari ke-6 dari 0,72 menjadi 0,9. Pada gambar 15 terdapat suatu titik yang menunjukkan peningkatan nilai *optical density* yang ekstrem, yaitu kultur A pada hari ke-28 dari 1,42 menjadi 1,52; kultur B pada hari ke-29 dari 1,52 menjadi 1,62; kultur C pada hari ke-28 dari 1,05 menjadi 1,09; kultur D pada hari ke-27 dari 0,71 menjadi 0,76. Peningkatan nilai *optical density* yang ekstrem ini menunjukkan kultur spirulina mengalami fase eksponensial (Hadiyanto dan Azim, 2012).

Menurut (Fakhri et al., 2020), Hasil pengukuran *optical density* digunakan untuk menghitung laju pertumbuhan (μ). Laju pertumbuhan spirulina disajikan dalam gambar 2



Gambar 1 Laju pertumbuhan spirulina pada kultur air tawar

Berdasarkan hasil plotting nilai *optical density* terhadap waktu, dapat ditarik garis linier dari sebaran nilai-nilai *optical density* sehingga diperoleh persamaan linier. Persamaan ini digunakan untuk menentukan laju pertumbuhan spirulina terhadap waktu yang persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$y = ax$$

Dimana y : variabel dependen (*optical density*)

x : variabel independen (waktu (hari))

Berdasarkan gambar 16, laju pertumbuhan spirulina pada air tawar A (kontrol) sebesar $y = 0,0617x$. Spirulina B dengan perlakuan stirofoam 150 mg sebesar $y = 0,0705x$. Spirulina C dengan perlakuan stirofoam 250 mg sebesar $y = 0,0482x$. Spirulina D dengan perlakuan 400 mg sebesar $y = 0,0285x$.

Jika dilihat dari persamaan garis linier pada gambar 16 dan 17, laju pertumbuhan kultur spirulina B (diberi stirofoam 150 mg) baik pada air tawar maupun air payau merupakan yang tertinggi. Hal ini diduga karena spirulina mendapat nutrisi tambahan dari hasil degradasi stirofoam. Selain itu, stirofoam pada kultur B tidak menutup seluruh permukaan kultur sehingga cahaya lampu masih dapat masuk dan dapat dimanfaatkan dengan baik oleh spirulina. Peningkatan kadar stirofoam berdampak pada semakin menurunnya laju pertumbuhan kultur spirulina. Terbukti dari kultur D yang memiliki laju pertumbuhan yang lebih rendah dibanding kultur C. Hal ini karena spirulina mendapat tekanan dari lingkungan yang berupa stirofoam. Stirofoam yang terapung di permukaan mampu menghambat cahaya lampu untuk masuk ke dalam kultur.

Uji statistik dilakukan guna menjawab hipotesis penelitian. Uji statistika yang dipakai adalah uji *one way* ANOVA dengan menggunakan aplikasi SPSS versi 25. Uji ini digunakan untuk mengetahui adanya perbedaan pada masing-masing pertumbuhan spirulina. Namun, uji *one way* ANOVA mempunyai beberapa asumsi yang harus dipenuhi. Salah satunya adalah data harus terdistribusi dengan normal (Islam, 2020). Hasil uji normalitas dapat dilihat pada gambar

Tests of Normality

| | Kadar_stirofoam | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------|-----------------|---------------------------------|----|------|--------------|----|------|
| | | Statistic | df | Sig. | Statistic | df | Sig. |
| Pertumbuhan spirulina | kontrol | .160 | 23 | .133 | .906 | 23 | .034 |
| | 150 mg | .215 | 23 | .007 | .860 | 23 | .004 |
| | 250 mg | .183 | 23 | .044 | .872 | 23 | .007 |
| | 400 mg | .222 | 23 | .004 | .798 | 23 | .000 |

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 3 Uji Normalitas Data Pertumbuhan Spirulina Air Tawar

Hasil uji normalitas yang digunakan adalah yang tertera dalam tabel Shapiro-Wilk karena jumlah data kurang dari 50. Hasil uji menunjukkan nilai signifikansi $< 0,05$. Artinya data tidak terdistribusi normal, sehingga data tidak bisa diuji *one way* ANOVA. Alternatif yang bisa digunakan yaitu Uji Kruskal Wallis (Weber et al., 2021).

Test Statistics^{a,b}

| Pertumbuhan spirulina | |
|-----------------------|-------|
| Kruskal-Wallis H | 7.078 |
| df | 3 |
| Asymp. Sig. | .069 |

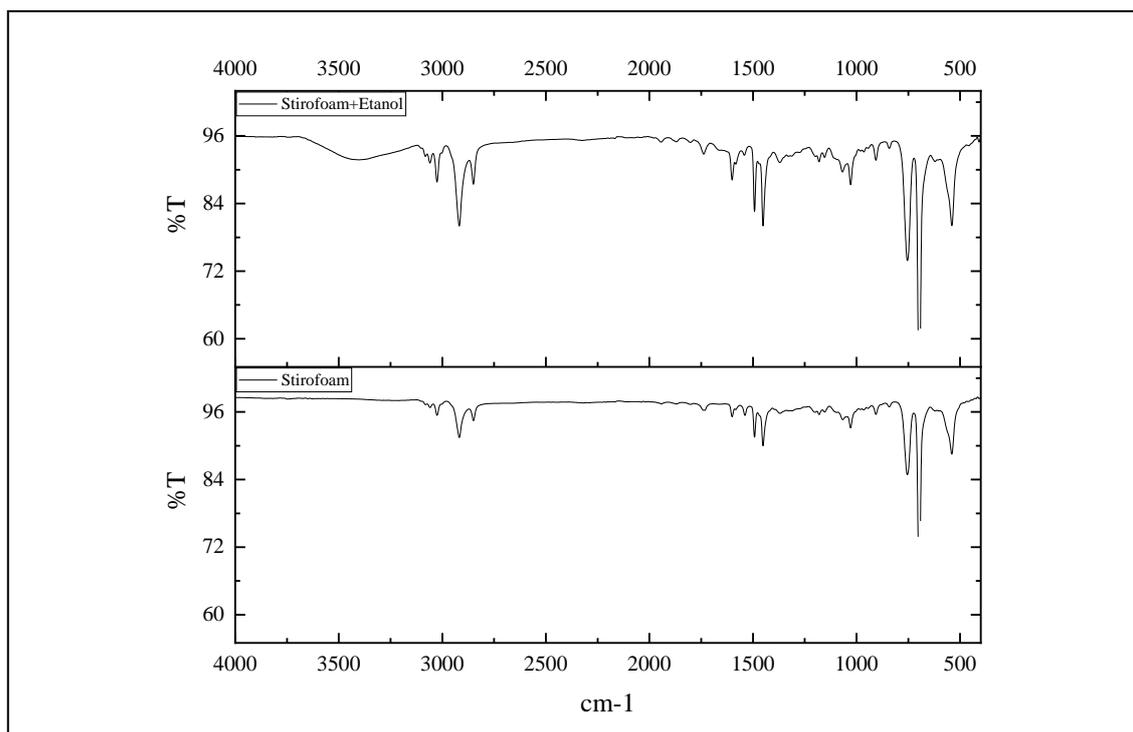
a. Kruskal Wallis Test
 b. Grouping Variable:
 Kadar_stirofoam

Gambar 4 Hasil Uji Kruskal Wallis Pertumbuhan Spirulina Air Tawar

Gambar 4 menunjukkan Hasil uji Kruskal Wallis. Nilai *Asymptotic Significance* yang diperoleh yaitu $0,069 > 0,05$; maka dapat disimpulkan H_0 diterima (Islam, 2020). Artinya tidak ada perbedaan pertumbuhan spirulina karena pengaruh perlakuan stirofoam (0, 150, 250 dan 400 mg) pada kultur air tawar (Hipotesis penelitian terjawab).

Degradasi Stirofoam

FTIR (*Fourier Transform Infrared*) merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menentukan gugus fungsi dan ikatan molekul suatu senyawa kimia pada suatu sampel. Prinsip kerjanya yaitu adanya interaksi antara infra merah yang berasal dari sumber dengan material sampel uji. Sampel akan menghasilkan getaran (vibrasi) yang akan ditangkap oleh detektor dan akhirnya diterjemahkan menjadi kurva yang memiliki puncak-puncak tertentu dengan spektrum $4000-400\text{ cm}^{-1}$ (Mohamed et al., 2017). FTIR mampu mendeteksi adanya degradasi pada suatu plastik dengan melihat perubahan gugus fungsi yang merupakan komponen penyusun plastik (Khoironi, Anggoro, Sudarno, 2019).



Gambar 5 Hasil FTIR perbandingan stirofoam sebelum mendapat perlakuan dan sesudah direndam etanol selama 24 jam

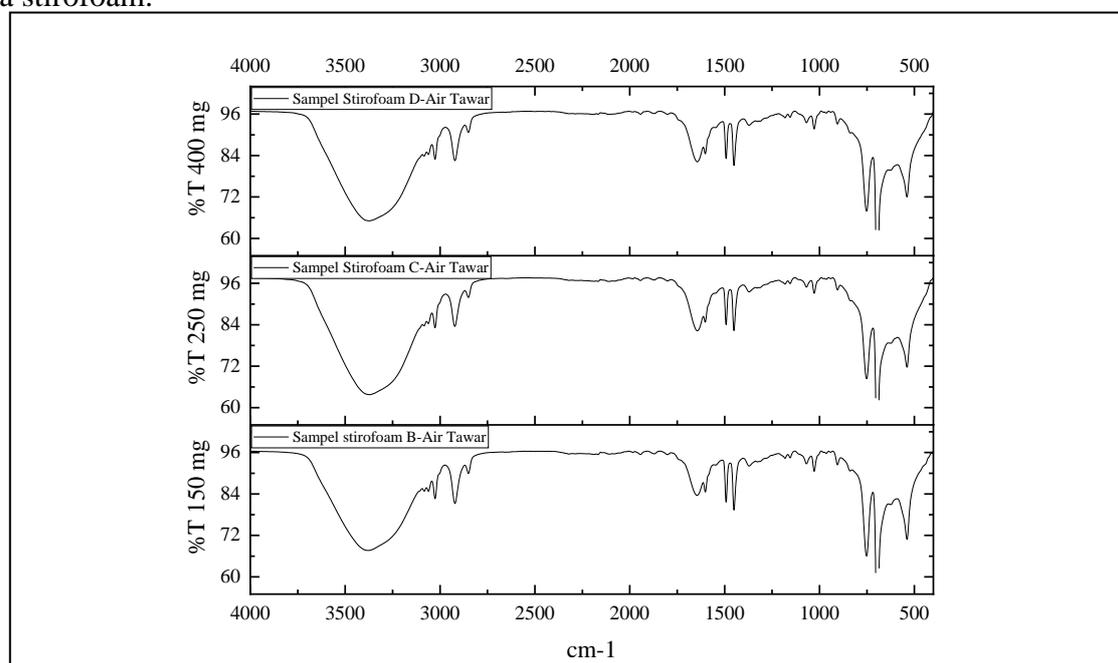
Sebagai referensi, hasil uji FTIR sampel stirofoam awal dibandingkan dengan data hasil uji yang tertera di buku petunjuk identifikasi polimer terbitan Perkin Elmer, Inc. Kurva hasil uji memiliki peak yang sama dengan buku petunjuk tersebut (W.H.A.M. van den Broek, E.P.P.A. Derks, E.W. van de Ven, D. Wienke, P. Geladi, 1996).

Tabel 1 Uji FTIR pada Styrofoam

| No | Panjang gelombang (cm-1) | | Rentang frekuensi | Gugus fungsi |
|----|---|---|-------------------|--|
| | Styrofoam | Styrofoam +Etanol | | |
| 1 | - | 3121.03 | 3150-3050 (s) | C-H (aromatik stretch) |
| 2 | 3025.45 | 3025.63 | 3100-3000 (m) | C-H (alkenes stretch) |
| 3 | 2980.46 2917.98 2870.74 2849.65 | 2981.93 2918.16 2869.91 2849.97 | 3000-2850 (s) | C-H (alkanes stretch) |
| 4 | 2145.65 | 2008.56 | 2270-1940 (m-s) | X=C=Y (allenes, ketenes, isocyanates, isothiocyanates) |
| 5 | 1600.83 1562.78 1492.55 1478.07 1451.52 | 1600.85 1518.57 1492.55 1478.23 1451.39 | 1600-1450 (m-w) | C=C (alkene aromatik) |
| 6 | - 1131.40 1028.70 | 1230.71 1133.84 1028.61 | 1400-1000 (s) | C-X (Fluoride) |
| 7 | - 814.84 754.73 | 927.08 817.25 754.33 | 1000-650 (s) | C-H (alkenes out-of-plane bend) |

| | | | |
|--------|--------|---------|----------------------------------|
| 724.55 | 722.83 | 900-690 | C-H (aromatik out-of-plane bend) |
| 697.14 | 696.85 | (s) | |
| 644.08 | 642.36 | 785-540 | C-X (chloride) |
| 539.77 | 539.54 | (s) | |

Langkah awal untuk membaca spektrum FTIR adalah dengan memeriksa adanya gugus karbonil (C=O) yang terletak pada panjang gelombang 1810-1630 cm^{-1} . Alasannya karena gugus karbonil akan terbaca dengan intensitas kuat dan membentuk peak yang tajam. Selain itu, rentang panjang gelombang gugus karbonil cukup pendek, sehingga mencirikan spektra gugus fungsi yang khas. Gugus karbonil meliputi aldehyde (1740-1720 cm^{-1}), keton (1725-1705 cm^{-1}), asam karboksilat (1725-1700 cm^{-1}), ester (1750-1730 cm^{-1}), amida (1680-1630 cm^{-1}) dan anhydride (1810 dan 1760 cm^{-1}) (Mohamed et al., 2017). Berdasarkan Gambar 6, terlihat tidak ada gugus karboksil yang terbentuk. Hal ini menunjukkan tidak terjadi reaksi oksidasi pada styrofoam.



Gambar 6 Hasil FTIR perbandingan styrofoam setelah mendapat perlakuan dengan spirulina dalam kultur air tawar

Jika gugus karbonil tidak terdeteksi, Langkah berikutnya adalah memeriksa gugus hidroksil (O-H) yang terletak pada panjang gelombang 3400-3200 cm^{-1} . Gugus O-H mudah dikenali karena bentuknya yang melebar. Gugus O-H bisa berbentuk alkohol atau fenol. Untuk membedakannya, perlu diperiksa gugus C-O (1300-1000 cm^{-1}). Jika terbentuk gugus C-O, maka berarti gugus tersebut adalah alkohol. Namun, alkohol tersebut merupakan alkohol yang terikat pada senyawa lain (-R), karena alkohol bebas akan terbaca pada panjang gelombang 3650-3600 cm^{-1} . Sedangkan keberadaan fenol yang terikat pada rantai siklik akan terbaca sebagai senyawa aromatik (Nandiyanto et al., 2019).

Hasil FTIR styrofoam dan styrofoam yang direndam etanol terlihat tidak ada gugus O-H. Meskipun pada styrofoam yang direndam etanol mulai mengalami peregangan (*stretching*). Gugus O-H terlihat jelas pada styrofoam B, C, D-air tawar. Peak yang terbaca berada pada kisaran 3378 - 3345 cm^{-1} dengan intensitas 59,18% - 67,65%. Keberadaan gugus O-H harus dikonfirmasi dengan gugus C-O (1300-1000 cm^{-1}). Gugus C-O terlihat pada styrofoam D-air tawar. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan gugus fungsi pada styrofoam, dengan bukti terbentuk gugus alkohol (-COOH) (Song et al., 2020).

Langkah berikutnya adalah melihat gugus C-H, yang bisa berupa alkana (-C-H) pada 3000-2850 cm^{-1} dan alkena (=C-H) pada 3100-3000 cm^{-1} . Gugus ini teridentifikasi pada semua stirofoam, baik sebelum maupun sesudah perlakuan. Hal ini karena struktur stirofoam berupa rantai stirena panjang yang tersusun atas gugus alkana dan alkena. Namun, gugus C-H harus dikonfirmasi lagi bentuk rantainya, apakah berbentuk alifatik (rantai terbuka) atau aromatik (rantai tertutup). Caranya yaitu dengan melihat gugus C=C. Gugus C=C alifatik terletak pada panjang gelombang 1680-1600 cm^{-1} , sedangkan gugus C=C aromatik pada 1600-1475 cm^{-1} (Mohamed et al., 2017). Ciri khas dari rantai aromatik adalah munculnya rantai pendek yang berulang pada panjang gelombang 1600-1475 cm^{-1} (Nandiyanto et al., 2019). Struktur stirofoam dan stirofoam yang diberi perlakuan etanol menunjukkan adanya gugus C=C aromatik dan tidak terbentuk gugus C=C alifatik. Artinya struktur awal stirofoam yang berupa stirena mempunyai bentuk rantai tertutup (siklik). Namun, hasil uji FTIR pada stirofoam yang dimasukkan dalam kultur spirulina, menunjukkan adanya gugus C=C aromatik dan gugus C=C alifatik. Hal ini membuktikan bahwa ada rantai siklik yang terbuka (Song et al., 2020). Padahal (Mohamed et al., 2017) menyatakan bahwa stirofoam bersifat stabil karena struktur penyusunnya berupa rantai siklik dengan susunan yang sangat panjang. Terbukanya rantai siklik membuktikan terjadinya degradasi, walaupun degradasi yang terjadi belum sampai pada fragmentasi fisik dan perubahan menjadi monomer kimia yang lebih sederhana (Khoironi, Anggoro, Sudarno, 2019).

| No | Kultur air tawar | | | Rentang frekuensi (cm^{-1}) | Gugus fungsi |
|--------|------------------|------------------|------------------|--|--|
| | stirofoam 150 mg | stirofoam 250 mg | stirofoam 400 mg | | |
| 1 | 3378.92 | 3370.66 | 3372.91 | 3400-3200 (m) | O-H (H-bonded alcohols, phenols) |
| 2 | 3043.51 | 3043.01 | 3043.06 | 3100-3000 (m) | C-H (alkenes stretch) |
| | 3026.16 | 3026.38 | 3026.24 | | |
| | 2973.85 | 2970.26 | 2971.32 | | |
| 3 | 2921.57 | 2922.16 | 2921.63 | 3000-2850 (s) | C-H (alkanes stretch) |
| | 2869.43 | 2869.31 | 2869.20 | | |
| | - | 2850.81 | - | | |
| 4 | 2005.91 | 1909.43 | 2005.02 | 2270-1940 (m-s) | X=C=Y (allenes, ketenes, isocyanates, isothiocyanates) |
| 5 | 1643.03 | 1644.36 | 1644.95 | 1680-1600 (m-w) | C=C (alkene aliphatic) |
| | 1613.50 | - | 1612.60 | | |
| | 1601.81 | - | 1602.14 | | |
| 6 | 1511.95 | 1511.33 | 1510.05 | 1600-1450 (m-w) | C=C (alkene aromatik) |
| | 1492.49 | 1492.58 | 1492.52 | | |
| | 1471.26 | 1470.98 | 1471.27 | | |
| 7 | 1450.91 | 1451.08 | 1450.97 | 1400-1000 (s) | C-X (Fluoride) |
| | 1401.94 | 1403.47 | - | | |
| | - | - | 1130.72 | | |
| 8 | 888.13 | 991.41 | 991.36 | 1000-650 (s) | C-H (alkenes out-of-plane bend) |
| | 752.09 | 751.81 | 751.95 | (s) | |
| | 718.59 | 718.13 | 718.48 | 900-690 (s) | C-H (aromatik out-of-plane bend) |
| | 695.86 | 696.00 | 696.02 | (s) | |
| | 590.19 | 588.23 | 589.75 | 785-540 (s) | |
| 538.99 | 539.11 | 539.27 | (s) | C-X (chloride) | |

Tabel 1 Uji FTIR pada Stirofoam yang diinteraksikan dengan spirulina

Langkah terakhir yaitu dengan melihat daerah fingerprint yang merupakan identitas stirofoam. Hasil FTIR menunjukkan adanya peak pada panjang gelombang 754 – 538 cm^{-1} dengan peak yang tajam pada 697-695 cm^{-1} . Menurut (Nandiyanto, Oktiani and Ragadhita,

2019), peak 750 cm merupakan ciri khas senyawa aromatik. Data hasil uji FTIR pada stirofoam yang diinteraksikan dengan spirulina disajikan pada tabel 7.

KESIMPULAN

Pemberian stirofoam 150 mg mampu meningkatkan laju pertumbuhan spirulina, sehingga dapat disimpulkan interaksinya bersifat sinergis. Sedangkan pertumbuhan spirulina semakin menurun pada pemberian stirofoam 250 mg dan 400 mg, sehingga interaksinya bersifat antagonis. Pada kultur spirulina air tawar, hasil uji Kruskal Wallis menghasilkan nilai $\alpha > 0,05$ sehingga H_0 diterima dan H_1 ditolak, artinya tidak ada perbedaan pertumbuhan spirulina yang diberi perlakuan stirofoam dengan kadar berbeda (0, 150, 250 dan 400 mg). Hasil uji FTIR menunjukkan telah terjadi perubahan gugus fungsi pada stirofoam, dengan bukti terbentuk gugus alkohol (-COOH) pada panjang gelombang 3400-3200 cm^{-1} dan ada rantai siklik yang terbuka (muncul *peak* pada panjang gelombang 1680-1600 cm^{-1}). Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu salinitas kultur bisa divariasi untuk mengetahui laju pertumbuhan dan kemampuan degradasi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, W., Jamali, A., & Amin, M. (2007). Desalinasi Air Payau Menggunakan Surfactant Modified Zeolite (SMZ). *Jurnal Zeolit Indonesia*, 6(1), 32–37.
- Chandra, M., Kohn, C., Pawlitz, J., & Powell, G. (2016). *Real Cost of Styrofoam*. Saint Luis University. https://greendiningalliance.org/wp-content/uploads/2016/12/real-cost-of-styrofoam_written-report.pdf
- Fakhri, M., Antika, P. W., Ekawati, A. W., & Arifin, N. B. (2020). Pertumbuhan, Kandungan Pigmen, dan Protein Spirulina platensis yang Dikultur Pada $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ Dengan Dosis yang Berbeda. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 9(1), 38–47.
- Hadiyanto dan Azim, M. (2012). *Mikroalga Sumber Pangan dan Energi Masa Depan* (Edisi 1). UNDIP Press.
- Hadiyanto, H., Haris, A., Muhammad, F., Afiati, N., & Khoironi, A. (2021). Interaction between styrofoam and microalgae Spirulina platensis in brackish water system. *Toxics*, 9(3), 1–12. <https://doi.org/10.3390/toxics9030043>
- Islam, M. T. (2020). *Learning SPSS without Pain : A Comprehensive Manual for Data Analysis and Interpretation of Outputs* (First Edit, Issue August). ASA Publications. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12812837>
- Khoironi, Anggoro, Sudarno, A. (2019). Evaluation of the Interaction Among Micoalgae Spirulina sp, Plastics Polyethylene Terephtalate and Polypropylene in Freshwater Environment. *Journal of Ecological Engineering*, 20(6), 161–173.
- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., & Rahman, M. A. (2017). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2>
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret ftir spectroscopie of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Sajdak, M. M. (2018). Optimization frameworks in resource management and process engineering. In *Plastics to Energy: Fuel, Chemicals, and Sustainability Implications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813140-4.00017-0>
- Sastrohamidjojo, H. (2019). *Dasar-Dasar Spektroskopi* (Kedua). Gadjah Mada University Press.

- Sjollema, S. B., Redondo-Hasselerharm, P., Leslie, H. A., Kraak, M. H. S., & Vethaak, A. D. (2016). Do plastic particles affect microalgal photosynthesis and growth? *Aquatic Toxicology*, *170*, 259–261. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.12.002>
- Song, Y., Qiu, R., Hu, J., Li, X., Zhang, X., Chen, Y., Wu, W. M., & He, D. (2020). Biodegradation and disintegration of expanded polystyrene by land snails *Achatina fulica*. *Science of the Total Environment*, *746*, 141289. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141289>
- Weber, A., von Randow, M., Voigt, A. L., von der Au, M., Fischer, E., Meermann, B., & Wagner, M. (2021). Ingestion and toxicity of microplastics in the freshwater gastropod *Lymnaea stagnalis*: No microplastic-induced effects alone or in combination with copper. *Chemosphere*, *263*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128040>
- W.H.A.M. van den Broek, E.P.P.A. Derks, E.W. van de Ven, D. Wienke, P. Geladi, L. M. C. B. (1996). Polymer Identification Using Mid Infrared Spectroscopy. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, *35*, 187–197.