

## UJI KEMAMPUAN MIKROALGA SEBAGAI BIOREMEDIATOR LIMBAH CAIR INDUSTRI PENGOLAHAN SUSU

Yuli Pratiwi<sup>1\*</sup>, Suparni Setyowati Rahayu<sup>2</sup>, Paramita Dwi Sukmawati<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Sains & Teknologi AKPRINDYogyakarta

<sup>1\*</sup> Email: yuli\_pratiwi@akprind.ac.id

### ABSTRAK

Metode pengolahan limbah cair menggunakan mikroalga, termasuk pengolahan limbah secara hayati. Salah satu mikroorganisme yang dapat digunakan untuk mengolah limbah secara hayati adalah mikroalga. Aktivitas mikroalga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan suatu sistem yang dapat melakukan proses daur ulang, sehingga dapat memperbaiki kualitas limbah yang akan dibuang. Tujuan penelitian ini adalah: 1) Mengetahui penggunaan mikroalga dalam memperbaiki kualitas air limbah industri pengolahan susu, berdasarkan parameter pH, DO, BOD, CO<sub>2</sub> terlarut, 2) Mengetahui pengaruh limbah cair industri pengolahan susu terhadap pertumbuhan mikroalga dan protozoa. Penelitian ini meliputi beberapa tahap, yaitu: 1) Tahap persiapan untuk mempersiapkan bahan dan peralatan, meliputi sterilisasi air yang digunakan untuk perkembangbiakan mikroalga, serta sterilisasi peralatan penelitian; 2) Tahap persiapan kultur mikroalga yang meliputi isolasi dan perkembangbiakan kultur mikroalga; 3) Tahap pelaksanaan penelitian menggunakan konsentrasi 0% (kontrol), 40%, 45%, 50%, 55%, 60% dengan perincian kebutuhan mikroalga dan limbah cair industri pengolahan susu. Penentuan konsentrasi 40-60% didasarkan atas hasil uji pendahuluan atau *exploratory test* yang menggunakan konsentrasi perlakuan 0 - 100%; 4) Pengamatan dilakukan setiap hari selama 8 hari, mengingat GOP (*Growth Optimum Population*) dari mikroalga adalah 4-5 hari. Parameter yang diamati meliputi: pH, DO, BOD, CO<sub>2</sub>, dan populasi mikroalga. dan populasi protozoa. Data dianalisis menggunakan regresi dan korelasi program SPSS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroalga dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas air limbah industri pengolahan susu, terutama menurunkan parameter BOD, CO<sub>2</sub> terlarut serta menaikkan nilai pH dan DO. Limbah cair industri pengolahan susu memberikan pengaruh yang positif bagi pertumbuhan mikroalga yang mengakibatkan tumbuhnya populasi protozoa yang dapat menunjang dan mempercepat proses penganalisan limbah cair tersebut.

**Kata kunci:** *growth optimum population*, limbah cair, mikroalga,

### PENDAHULUAN

Industri pengolahan susu merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah organik. Limbah cair industri susu memiliki karakteristik antara lain sangat mudah terurai atau membusuk dan mengandung nutrisi terutama N dan P, sehingga jika sebelum dibuang ke perairan umum tidak diolah dengan baik akan mencemari lingkungan. Limbah cair industri pengolahan susu mengandung bahan-bahan organik seperti lemak dan minyak. Adanya senyawa-senyawa organik tersebut menyebabkan limbah cair industri pengolahan susu mengandung BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), nitrogen, dan fosfor yang tinggi, yang apabila dibuang ke perairan tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran [1]. Senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair industri pengolahan susu, sangat mudah diuraikan menjadi senyawa yang lebih

sederhana oleh mikroorganisme kelompok mikroalga seperti *Chlorella* sp. dan mikroorganisme lain seperti protozoa. Sehingga diharapkan apabila limbah cair ini dibuang ke lingkungan tidak menimbulkan masalah pencemaran lingkungan.

Penggunaan mikroalga dalam pengolahan air limbah mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan pengolahan menggunakan bahan kimia. Beberapa keuntungan penggunaan mikroalga dalam pengolahan air limbah antara lain: prinsip proses pengolahannya berjalan alami seperti prinsip ekosistem alam sehingga sangat ramah lingkungan dan tidak menghasilkan limbah sekunder, kebutuhan energi rendah, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan produksi biomassa mikroalga [2].

Aktivitas mikroalga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan suatu sistem yang dapat melakukan proses daur ulang, sehingga dapat memperbaiki kualitas limbah yang akan

dibuang. Mikroalga yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah salah satunya adalah *Chlorella* sp. Menurut Ahmad dkk. [3] mikroalga adalah organisme mikroskopi baik eukariotik atau prokariotik dalam struktur dan biasanya ditemukan di air tawar maupun air laut. Fotosintesis mikroalga dalam reaksi terang dan gelap (siklus Calvin). Mikroalga ini dapat dengan cepat dibiakkan, dan beberapa manfaatnya adalah: (1) berkembangbiak dengan cepat pada kondisi tumbuhnya, (2) mudah dalam membudidayakan, (3) menghasilkan oksigen melalui proses fotosintesis, (4) mengandung protein yang tinggi dengan komponen utama asam amino.

Salah satu contoh kelompok mikroalga adalah fitoplankton yang merupakan kelompok mikroalga mikroskopik, yang hanya mempunyai tenaga relatif kecil, sehingga hanya dapat mengapung di permukaan air dan dapat bergerak karena adanya gerakan arus air serta mampu melakukan proses fotosintesis. Fitoplankton memiliki zat hijau daun yang disebut klorofil, serta pigmen lain yang berperan dalam proses fotosintesis untuk menghasilkan bahan organik dan oksigen dalam air. Selain itu fitoplankton juga dapat digunakan sebagai indikator kesuburan suatu perairan. Plankton yang bersifat tumbuhan disebut fitoplankton, sedangkan plankton yang bersifat hewan disebut zooplankton. Fitoplankton dapat melakukan fotosintesis dan juga merupakan sumber makanan bagi protozoa dan organisme akuatik lainnya.

Komunitas plankton yang meliputi fitoplankton dan zooplankton di ekosistem perairan merupakan basis terbentuknya rantai makanan. Karena di perairan fitoplankton merupakan produsen primer yang mendukung sistem kehidupan yang ada, karena mampu menghasilkan oksigen dari proses fotosintesis. Oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis oleh fitoplankton sangat penting untuk pengendalian pencemaran di ekosistem perairan. Sedangkan protozoa sebagai penyusun dari kelompok zooplankton, selain menjadikan fitoplankton sebagai sumber makanan dan sumber oksigen, ternyata zooplankton juga mampu merombak senyawa-senyawa organik kompleks seperti yang terkandung di limbah cair industri pengolahan susu, kemudian dirombak menjadi senyawa yang lebih sederhana. Oleh karena itu adanya peran anggota ekosistem seperti fitoplankton, protozoa dan organisme akuatik lainnya, diharapkan dapat mendegradasi

secara biologis dengan maksimal terhadap senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam air limbah, sehingga proses pemurnian dari badan air yang tercemar dapat berlangsung dengan cepat [4].

Tujuan dari penelitian ini adalah: 1) Mengetahui penggunaan mikroalga dalam memperbaiki kualitas air limbah industri pengolahan susu, berdasarkan parameter pH, DO, BOD, CO<sub>2</sub> terlarut. 2) Mengetahui pengaruh limbah cair industri pengolahan susu terhadap pertumbuhan mikroalga dan protozoa. Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan dapat memberikan solusi dalam menanggulangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan limbah cair yang mengandung senyawa organik dengan cara memanfaatkan mikroalga yang banyak hidup di perairan air tawar maupun air laut.

Menurut Hadiyanto dan Azim [5] Mikroalga adalah sejenis makhluk hidup unisel berukuran antara 1 mikrometer sampai ratusan mikrometer yang memiliki klorofil, hidup di air tawar atau laut, membutuhkan karbon dioksida, beberapa bahan organik dan cahaya untuk berfotosintesis. Penggunaan mikroalga dalam pengolahan limbah cair organik memiliki keuntungan yaitu proses pengolahan berjalan secara alami seperti prinsip ekosistem alam, sehingga sangat ramah lingkungan dan tidak menghasilkan limbah sekunder [6]. Mikroalga dapat digunakan untuk pengolahan limbah organik. Menurut Whitton dkk. [7] mikroalga dapat menyerap kandungan senyawa organik yang masih tersisa dalam limbah, dan menghasilkan oksigen yang dapat menurunkan kadar COD dan BOD dalam limbah lewat bantuan bakteri pengurai zat organik. Bahkan mikroalga jenis *Ascophyllum nodosum* secara efektif dapat memindahkan metal cadmium, nikel, dan seng dari limbah. *Fucus vesiculosus* dapat menyerap metal chromium (III), dan sebagainya [8]. Mikroalga selain dimanfaatkan untuk bioremediasi air limbah juga dapat menghasilkan biomassa yang dapat digunakan untuk bioenergi, obat-obatan, pupuk organik dan pakan hewan [9].

Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga menurut Sriram [10] antara lain: 1) intensitas cahaya, menjadi faktor penting dalam pertumbuhan mikroalga karena dibutuhkan dalam proses fotosintesis mikroalga. Menurut Yodsuwan dkk. [11] bahwa *Chlorella* sp. dapat tumbuh dalam keadaan maksimum pada kondisi intensitas cahaya 5000 lux. 2)

Temperatur, menjadi parameter pertumbuhan mikroalga yang cukup penting karena didasarkan pada tempat tumbuhnya, baik dalam iklim tropis maupun sub tropis. Sebagian besar algae dapat tumbuh pada suhu antara 15 sampai 40<sup>0</sup>C. 3) Nutrien, adalah faktor penting dalam produksi biomass alga. Sebagian besar mikroalga membutuhkan makronutrien seperti karbon, (C), nitrogen (N), hidrogen (H), sulfur (S), kalium (K), magnesium (Mg), dan fosfor (P). 4) Karbon dioksida, digunakan mikroalga untuk proses fotosintetis layaknya tumbuhan berklorofil lainnya. 5) pH, sebagian besar mikroalga tumbuh pada kondisi pH normal antara 6 sampai 8. Akan tetapi beberapa algae jenis cyanobacteria seperti *Spirulina platensis* hanya dapat tumbuh pada kondisi alkali/basa. Sementara *Chlorella* sp. secara umum dapat hidup dalam kondisi pH antara 7-8. 6) Salinitas, mikroalga air laut umumnya rentan terhadap perubahan salinitas pada medium. *Dunaliella salina* dan *Spirulina platensis* adalah contoh mikroalga yang dapat tumbuh subur pada salinitas yang tinggi [12]. 7) Pengadukan, pada medium mikroalga dibutuhkan agar tidak terjadi pengendapan biomass, selain itu difungsikan untuk pencampuran nutrien, dan meningkatkan difusifitas gas CO<sub>2</sub>.

Limbah yang dihasilkan dari industri pengolahan susu adalah limbah cair yang umumnya merupakan sisa-sisa susu yang tumpah selama proses produksi berlangsung, dan limbah cair ini mempunyai karakteristik khas yaitu lebih rentan terhadap bakteri pengurai sehingga harus segera diolah terlebih dahulu agar tidak terjadi pembusukan yang dapat membahayakan lingkungan. Sebagian besar sumber utama limbah cair industri pengolahan susu berasal dari produk susu yang terbuang selama proses produksi, biasanya disebabkan oleh kebocoran dan tumpahan selama proses produksi berlangsung, seperti sistem operasional kurang baik yang terjadi pada saat pemindahan pipa saluran produksi, mesin evaporasi, proses pengisian dan sisa bahan baku yang rusak.

Tabel 1. Limbah Yang Dihasilkan Dari Proses Produksi Susu [13]

| Kegiatan                          | Jenis Limbah                            |                        |               |
|-----------------------------------|---|------------------------|---------------|
|                                   | Air Limbah                              | Limbah Padat           | Emisi         |
| <b>Penyaringan</b>                | Tumpahan bahan bak                      | Sisa saringan          | -             |
| <b>Proses pengolahan</b>          | Tumpahan                                | -                      | -             |
| <b>Evaporasi</b>                  | -                                       | -                      | Genset/boiler |
| <b>Pencampuran</b>                | Tumpahan bahan baku dan bahan pendukung |                        | -             |
| <b>Pengeringan</b>                | -                                       | Tumpahan produk        | Genset/boiler |
| <b>Finishing &amp; pengemasan</b> | Tumpahan dan sisa kemasan               | produk                 | -             |
| <b>Pasca produksi</b>             | Produk yg tidak memenuhi standar mutu   |                        | -             |
| <b>Pengemasan</b>                 | Tumpahan saat pengemasan                | Sisa kemasan           | -             |
| <b>Pembersihan</b>                | Air sisa pencucian                      | Padatan saat pencucian | -             |
| <b>IPAL</b>                       | -                                       | sludge                 | -             |
| <b>Laboratorium</b>               | Sisa reagen                             | Kemasan bekas reagen   | -             |
| <b>Kondesat &amp; pendingin</b>   | Air buangan                             | -                      | -             |

Air limbah yang cukup besar juga dihasilkan dari air pendingin dan kondensat, namun penanganan air buangan pendingin tersebut biasanya dapat diatasi dengan melakukan *recycle* melalui sistem tertutup sehingga dapat digunakan kembali. Menurut Zakaria dkk. [14] kandungan air limbah industri pengolahan susu mempunyai kadar BOD sebesar 600-2000 mg/l, kadar COD sebesar 800-4500 mg/l, kadar total nitrogen sebesar 20-230 mg/l, kadar total fosfor sebesar 20-100 mg/l, kadar kalium sebesar 6,78mg/l, susbtansi lemak 80-250 mg/l, kadar sedimen 1- 2 ml/l dan pH berkisar 6-11.

## METODE PENELITIAN

Bahan yang dipergunakan untuk penelitian meliputi: kultur mikroalga, limbah cair industri pengolahan susu, air steril, media walne, bahan kimia untuk pemeriksaan DO, BOD, CO<sub>2</sub>, kaporit, Natrium Thiosulfat. Sedangkan peralatan yang dipergunakan untuk penelitian meliputi: akuarium volume 10 Liter, aerator dan perlengkapannya, DO meter, Spektrofotometer, mikroskop, haemocytometer, autoclave, pH meter, gelas ukur.

Tahap pelaksanaan penelitian meliputi:  
 1) Persiapan bahan dan peralatan, meliputi sterilisasi air yang digunakan untuk perkembangbiakan mikroalga, serta sterilisasi peralatan penelitian. 2) Tahap persiapan kultur mikroalga yang meliputi isolasi dan perkembangbiakan kultur mikroalga, 3) Tahap pelaksanaan penelitian menggunakan konsentrasi 0% (kontrol), 40%, 45%, 50%, 55%, 60% dengan perincian kebutuhan mikroalga dan limbah cair industri pengolahan susu seperti di Tabel 2 di bawah ini. 4) Penentuan konsentrasi 40-60% didasarkan atas hasil ujipendahuluan atau *exploratory test* yang menggunakan konsentrasi perlakuan 0 - 100%. 5) Pengamatan dilakukan setiap hari selama 8 hari, mengingat GOP (*Growth Optimum Population*) dari mikroalga adalah 4 - 5 hari. 6) Pengumpulan data dilakukan sejak hari pertama penelitian sampai hari ke delapan. Parameter yang diamati meliputi: pH, DO, BOD, CO<sub>2</sub>, dan populasi mikroalga. dan populasi protozoa. 7) Data dianalisis menggunakan regresi dan korelasi program SPSS [15].

Tabel 2. Kebutuhan Kultur dan Limbah Cair Industri Pengolahan Susu

| Konsentrasi Perlakuan (%) | Kultur mikroalga (Liter) | Limbah Cair Industri Pengolahan Susu (Liter) |
|---------------------------|--------------------------|--|
| 0 (Kontrol)               | 0                        | 10,0   |
| 40                        | 4,0                      | 6,0  |
| 45                        | 4,5                      | 5,5  |
| 50                        | 5,0                      | 5,0  |
| 55                        | 5,5                      | 4,5  |
| 60                        | 6,0                      | 4,0  |

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data perbaikan kualitas limbah cair industri pengolahan susu setelah diperlakukan dengan mikroalga, dengan konsentrasi 40-60% (Tabel 3), menunjukkan bahwa dapat menurunkan tingkat pencemaran limbah cair tersebut ditinjau dari parameter pH, DO, BOD, CO<sub>2</sub> terlarut dan juga sudah memenuhi syarat kualitas air limbah seperti yang telah dibakukan dalam Keputusan Gubernur Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta no. 7 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah [16]. Kemudian setelah data penelitian ini dianalisis dengan regresi dan korelasi program SPSS, ternyata antara konsentrasi perlakuan (40-60%) terhadap parameter DO, BOD, CO<sub>2</sub>

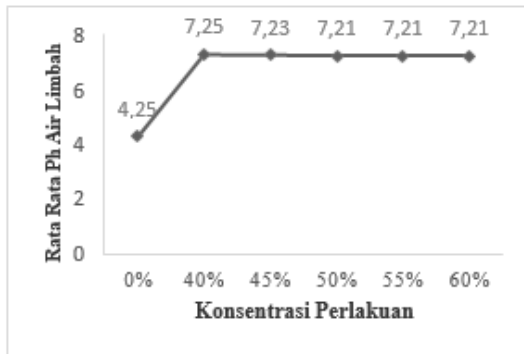
terlarut dan populasi protozoa didapatkan hasil korelasi positif (untuk parameter DO dan populasi protozoa) dan berkorelasi negatif (untuk parameter pH, CO<sub>2</sub> terlarut, BOD), hal ini didasarkan hasil perhitungan koefisien yang nilainya antara -1 sampai 1. Sedangkan persamaan garis regresi antara konsentrasi perlakuan (40-60%) dengan parameter DO, BOD, CO<sub>2</sub> terlarut dan populasi protozoa akan dituliskan di pembahasan di setiap parameter di bawah ini.

Tabel 3. Kualitas Limbah Cair Industri Pengolahan Susu Sebelum (0%) dan Sesudah (40-60%) Diperlakukan dengan Mikroalga

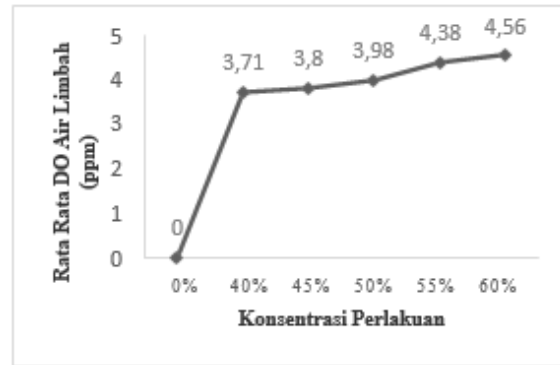
| Konsentrasi perlakuan | Pengamatan hari ke: | Rata Rata |          |                       |           |
|-----------------------|---------------------|-----------|----------|-----------------------|-----------|
|                       |                     | pH        | DO (ppm) | CO <sub>2</sub> (ppm) | BOD (ppm) |
| 0%                    | 1-8                 | 4,25      | 0        | 27,45                 | 278,36    |
| 40%                   | 1-8                 | 7,25      | 3,71     | 12,76                 | 122,40    |
| 45%                   | 1-8                 | 7,23      | 3,80     | 12,40                 | 113,08    |
| 50%                   | 1-8                 | 7,21      | 3,98     | 12,43                 | 111,28    |
| 55%                   | 1-8                 | 7,21      | 4,38     | 8,68                  | 101,51    |
| 60%                   | 1-8                 | 7,21      | 4,56     | 8,14                  | 100,39    |

### 1. pH

pH pada air limbah asli (0% atau kontrol) relatif rendah yaitu 4,25. Rendahnya pH air limbah asli ini diduga bersumber dari CO<sub>2</sub> yang terbentuk karena pengaruh proses oksidasi biologi terhadap zat organik yang terkandung dalam air limbah, terutama pada air yang tercemar. Oleh karena itu pada penelitian ini pH air limbah perlu dinetralkan terlebih dahulu sesuai dengan pH air untuk kehidupan mikroalga. Dari hasil uji penerapan mikroalga terhadap limbah cair industri pengolahan susu dari konsentrasi perlakuan 40-60% sampai hari terakhir pengamatan, ternyata dapat mencapai pH sekitar 7,25-7,21. Penyebabnya kemungkinan besar karena mikroalga dalam melakukan proses fotosintesis menghasilkan sejumlah oksigen yang berkontribusi sebagai oksigen terlarut ke dalam limbah, dan dengan kenaikan kadar oksigen terlarut ini mengakibatkan kenaikan pH. Persamaan garis regresi antara konsentrasi perlakuan dengan pH air limbah yaitu  $Y = 7,31 + 0,02 X$  dengan asumsi Y adalah konsentrasi perlakuan dan X merupakan pH air limbah industri pengolahan susu.



Gambar 1. Hubungan antara konsentrasi perlakuan dengan pH air limbah industri pengolahan susu



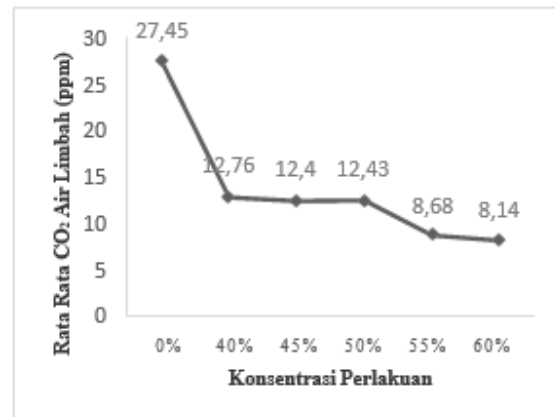
Gambar 2. Hubungan antara konsentrasi perlakuan dengan DO air limbah industri pengolahan susu

## 2. Oksigen Terlarut (DO: *Dissolved Oxygen*)

Oksigen terlarut pada limbah cair industri pengolahan susu pada 0% (kontrol) pada hari pertama pengamatan sampai hari ke delapan adalah 0 ppm, sedangkan pada air limbah yang sudah diperlakukan dengan mikroalga, dari konsentrasi perlakuan 40-60% pada hari ke delapan pengamatan, kandungan oksigen terlarut sebesar 3,71 – 4,56 ppm. Kandungan oksigen terlarut dapat bertambah karena mikroalga dengan adanya sinar matahari dan bahan-bahan organik yang terkandung dalam air limbah, dapat melakukan proses fotosintesis yang salah satunya akan menghasilkan oksigen. Kenaikan tersebut sejalan dengan pertambahan jumlah populasi mikroalga pada masing-masing perlakuan. Sedangkan pada limbah cair industri pengolahan susu konsentrasi 0% (kontrol), kandungan oksigen terlarut sampai hari ke delapan tetap 0 ppm. Hal ini disebabkan semakin tinggi konsentrasi limbah cair industri pengolahan susu, maka akan semakin banyak jumlah sisa-sisa bahan organik dan unsur lain yang terlarut, sehingga menjadi semakin banyak mikroorganisme yang menguraikan sisa-sisa bahan organik ini. Sementara untuk melaksanakan proses dekomposisi ini, mikroorganisme membutuhkan sejumlah oksigen dan akibatnya kandungan oksigen terlarut menjadi turun. Persamaan garis regresi antara konsentrasi perlakuan dengan DO air limbah yaitu  $Y = 1,81 + 0,05 X$ , dengan asumsi Y adalah konsentrasi perlakuan dan X merupakan DO air limbah.

## 3. CO<sub>2</sub> Terlarut

CO<sub>2</sub> terlarut air limbah industri pengolahan susu pada konsentrasi 0% (kontrol) pada hari pertama pengamatan sampai hari ke delapan mencapai 27,45 ppm. Sementara kandungan CO<sub>2</sub> terlarut pada konsentrasi perlakuan 40 – 60 % pada pengamatan hari ke delapan adalah sebesar 8,14 - 12,76 ppm. Hal ini disebabkan dengan adanya mikroalga, maka akan selalu terjadi proses fotosintesis untuk kelangsungan hidupnya dengan menggunakan CO<sub>2</sub> terlarut sebagai bahan utama.

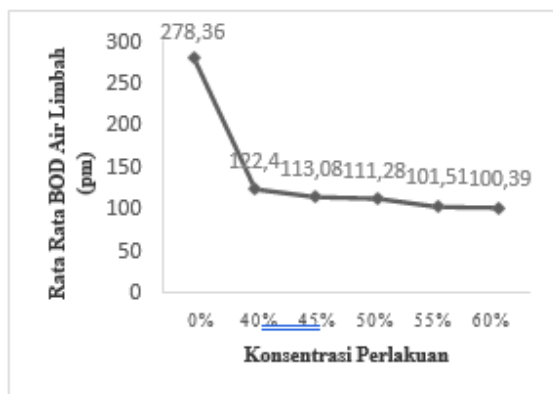


Gambar 3. Hubungan antara konsentrasi perlakuan dengan CO<sub>2</sub> air limbah industri pengolahan susu

Semakin baik pertumbuhan populasi mikroalga, maka kandungan CO<sub>2</sub> terlarut pada air limbah industri pengolahan susu yang sudah diperlakukan dengan mikroalga akan semakin turun. Persamaan garis regresi antara konsentrasi perlakuan dengan CO<sub>2</sub> terlarut air limbah adalah  $Y = 23,86 + 0,26 X$ , dengan asumsi Y adalah konsentrasi perlakuan dan X merupakan CO<sub>2</sub> terlarut air limbah.

#### 4. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD air limbah industri pengolahan susupada konsentrasi 0% (kontrol) pada hari ke delapan pengamatan sebesar 278,36 ppm. Sedangkan kandungan BOD pada air limbah yang diperlakukan dengan mikroalga konsentrasi perlakuan 40-60% pada hari ke delapan pengamatan adalah sebesar 122,40 – 100,39 ppm. Hal ini berarti penerapan mikroalga untuk pengolahan limbah cair industri pengolahan susu dapat menurunkan BOD. Kemungkinan disebabkan karena semakin banyak jumlah populasi mikroalga maka akan terjadi kenaikan kandungan oksigen terlarut sebagai hasil proses fotosintesis yang dilakukan mikroalga dan akibatnya kebutuhan oksigen bagi mikroorganisme untuk proses penguraian bahan organik yang terkandung dalam air limbah dapat dikurangi. Persamaan garis regresi antara konsentrasi perlakuan dengan BOD air limbah yaitu  $Y = 165,32 + 1,11 X$  dengan asumsi Y adalah konsentrasi perlakuan dan X merupakan BOD air limbah.



Gambar 4. Hubungan antara konsentrasi perlakuan dengan BOD air limbah industri pengolahan susu

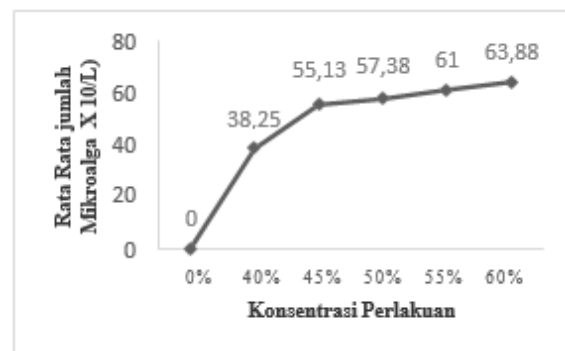
Tabel 4. Pertumbuhan Mikroalga dan Protozoa

| Konsentrasi perlakuan | Pengamatan (hari) | Rata Rata        |                 |
|-----------------------|-------------------|------------------|-----------------|
|                       |                   | Mikroalga x 10/L | Protozoa x 10/L |
| 0%                    | 1-8               | 0                | 0               |
| 40%                   | 1-8               | 38,25            | 7,75            |
| 45%                   | 1-8               | 55,13            | 9,63            |
| 50%                   | 1-8               | 57,38            | 11,38           |
| 55%                   | 1-8               | 61,00            | 11,50           |
| 60%                   | 1-8               | 63,88            | 12,25           |

#### 5. Pertumbuhan Mikroalga dan Protozoa

Jumlah mikroalga pada masing-masing konsentrasi (40–60%) meningkat pada hari pengamatan ke delapan sebesar 38,25 -63,88 (x

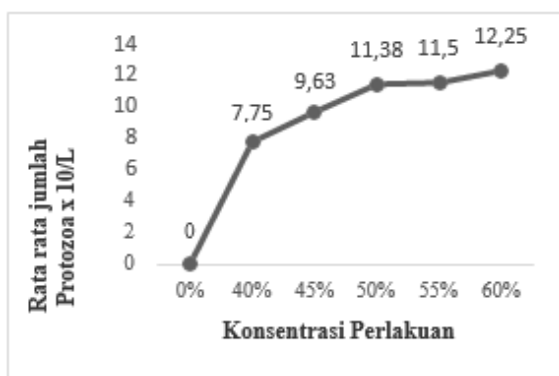
10/L). Peningkatan pertumbuhan ini diikuti dengan peningkatan pertumbuhan protozoa, sedangkan pada limbah cair industri pengolahan susu pada konsentrasi 0% (kontrol) pada mikroalga maupun protozoa tidak ada. Pertambahan populasi mikroalga dari hari pertama pengamatan sampai hari ke delapan pada konsentrasi perlakuan 40-60%, kemungkinan disebabkan adanya interaksi yang positif antara mikroalga dengan air limbah industri pengolahan susu, sehingga air limbah ini dapat memacu pertumbuhan populasi mikroalga dan disisi lain kualitas air limbah meningkat sejalan dengan menurunnya konsentrasi beberapa parameter yang melampaui baku mutu yang berlaku. Persamaan garis regresi antara konsentrasi perlakuan dengan populasi mikroalga yaitu  $Y = -2,0 + 1,142 X$ , dengan asumsi Y adalah konsentrasi perlakuan dan X merupakan populasi mikroalga yang terkandung di air limbah.



Gambar 5. Hubungan antara konsentrasi perlakuan dengan jumlah mikroalga di air limbah industri pengolahan susu

Pertumbuhan mikroalga pada air limbah industri pengolahan susu, ternyata juga memacu pertumbuhan protozoa, hal ini dapat dilihat pada hari ke delapan pengamatan pada konsentrasi perlakuan 40 – 60% yaitu sebesar 7,75 -12,25 (x 10/L). Hal ini dapat dimengerti mengingat selain mikroalga sebagai sumber oksigen atau merupakan produsen primer pada ekosistem ini, ternyata mikroalga juga merupakan sumber energi bagi organisme lain yang lebih besar seperti protozoa. Sehingga secara tidak langsung dengan adanya populasi protozoa ini membantu menguraikan senyawa-senyawa yang terkandung pada limbah cair industri pengolahan susu terutama senyawa organik sebagai sumber nutrisi. Kondisi ekosistem yang demikian menyebabkan proses degradasi

senyawa organik yang terkandung di dalam air limbah industri pengolahan susu akan dipercepat dengan adanya sistem piramidal nutrisi yang berkesinambungan. Persamaan garis regresi antara konsentrasi perlakuan dengan populasi protozoa yaitu  $Y = -0,375 + 0,217 X$ , dengan asumsi Y adalah konsentrasi perlakuan dan X merupakan populasi protozoa yang terkandung di air limbah.



Gambar 6. Hubungan antara konsentrasi perlakuan dengan jumlah protozoa di air limbah industri pengolahan

## KESIMPULAN

Mikroalga dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas air limbah industri pengolahan susu, terutama menurunkan parameter BOD, CO<sub>2</sub> terlarut serta menaikkan nilai pH dan DO.

Limbah cair industri pengolahan susu memberikan pengaruh yang positif bagi pertumbuhan mikroalga yang mengakibatkan tumbuhnya populasi protozoa yang dapat menunjang dan mempercepat proses pengolahan limbah cair tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Garno, YS., Komarawidjaja, W., Susanto. 2014. "Kajian Pertumbuhan Chlorella Sp. Pada Limbah Cair Industri Susu," *J. Tek. Lingkungan*, vol. 15, no. 1, pp. 9–14.
- [2] Elystia S., Muria SR., Pertiwi SIP. 2019. "Pemanfaatan Mikroalga Chlorella Sp. Untuk Produksi Lipid dalam Media Limbah Cair Hotel Dengan Variasi Rasio C:N dan Panjang Gelombang Cahaya," *J. Sains dan Teknol. Lingkungan*, vol. 11, no. 1, pp. 25-43.
- [3] Ahmad I., Abdullah N., Koji A., Yuzir, SE., Mohamad. 2021. "Potential of Microalgae in Bioremediation of Wastewater," *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 16, no. 2, pp. 413–429.
- [4] Malla, F.A., Khan, S.A., Rashmi., Sharma, G.K., Gupta, N., dan Abraham, M. 2015. "Phycoremediation Potential Of Chlorella Minutissima On Primary And Tertiary Treated Wastewater For Nutrient Removal And Biodiesel Production," *Ecol. Eng.*, vol. 75, no. 343–349.
- [5] Hadiyanto dan Azim. 2012. *Mikroalga Sumber Pangan dan Energi Masa Depan*, Pertama. Penerbit dan Percetakan UPT UNDIP Press Semarang.
- [6] Yang, YC., Jian, JF, Kuo, CM., Zhang, WX., dan Lin, CS. 2017. "Biomass and Lipid Production of Chlorella sp. using Municipal Wastewater under Semi-continuous Cultivation," in *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*. p. 101 (3).
- [7] Whitton, R., Ometto, F., Pidou, M., Jarvis, P., Villa, R., dan Jefferson, B. 2017. "Microalgae for Municipal Wastewater Nutrient Remediation: Mechanism, Reactors, and Outlook for Tertiary Treatment," *J. Environ. Technol. Rev.*, vol. 4, no. 1, pp. 133–148.
- [8] Acevedo, S., Pino, N.J dan Penuela, GA. 2017. "Biomass Production of Scenedesmus sp and Removal of Nitrogen and Phosphorus in Domestic Wastewater," *Ing. Y Compet.*, vol. 19, no. 1, pp. 177–185.
- [9] Batista, A.P., Ambrosano, L., Graca, S., Sousa, C., Marques, P. A. and Ribeiro. 2015. "Combining urban wastewater treatment with biohydrogen production—An integrated microalgae-based approach," *Bioresour Technol*, vol. 184, pp. 230–235.
- [10] Sriram, S., Seenivasan, R. 2012. "Microalgae Cultivation in Wastewater for Nutrient Removal," *Algal Biomass Utiln*, vol. 3, no. 2, pp. 9–13.
- [11] Yodsuan, N., Sawayama, S dan Sirisansaneeyakul. 2017. "Effect of Nitrogen Concentration on Growth, Lipid Production, and Fatty Acid Profiles of the Marine Diatom Phaeodactylum tricorutum," *Agric. Nat. Resour.*, vol. 51, pp. 190–197.
- [12] Asuthkar, M., Gunti, Y., Rao S.G., Rao, C.S. Yadavalli. 2016. "Effect of Different Wavelengths of Light on the Growth of

- Chlorella pyrenoidosa*,” *Int. J. Pharm. Sci. Res.*, vol. 7, no. 2, pp. 847– 851.
- [13] Anonim, "Panduan Inspeksi Penaatan Pengelolaan Lingkungan Industri Pengolahan Susu". Deputi MENLH Bidang Pengendalian pencemaran Kementerian Negara Lingkungan Hidup.
- [14] Zakaria A., Tanjung E., Safira KF. 2020. "Pengolahan Air Limbah Industri Susu dengan Sistem Semi Batch Reactor," *War. Akab*, vol. 44, no. 2, pp. 22–29.
- [15] Santoso, S. 2013. *Menguasai SPSS 21 di Era Informasi*. PT Elex MediaKomputindo Jakarta.
- [16] Anonim, "Keputusan Gubernur Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta No.6 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limba