

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

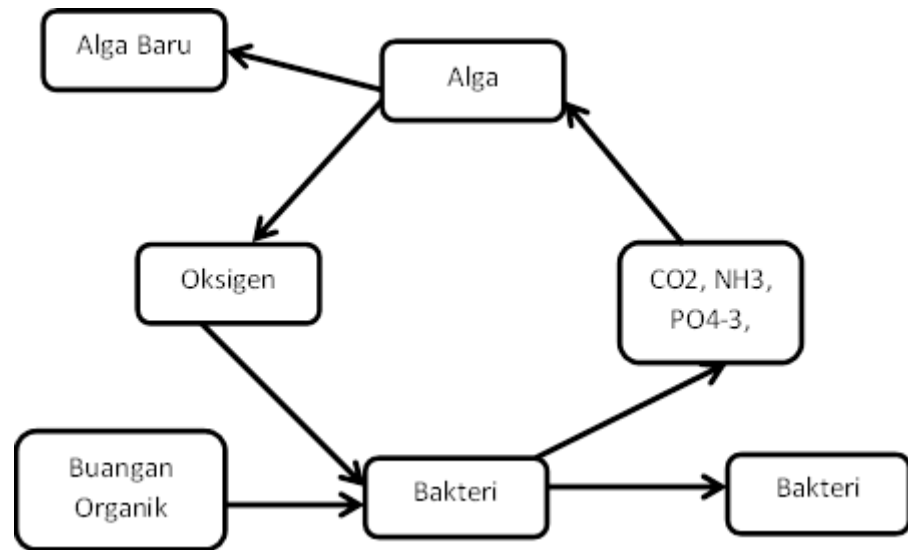
1.1. Tinjauan Pustaka

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Abdel-Raouf, dkk (2012) limbah domestik yang dilepaskan ke lingkungan mengandung konsentrasi zat organik dan anorganik yang tinggi. Untuk menghilangkan zat-zat yang mudah mengendap dan mengoksidasi zat organik dalam air limbah maka diperlukan proses pengolahan bertingkat. Hasil dari pengolahan ini tentunya dapat langsung dilepaskan ke badan air, karena kandungan zat organik dalam effluen tidak sebanyak kandungan dalam *influent*.

Kandungan zat organik dan anorganik yang terdapat dalam *greywater* akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi komponen-komponen kimia berbentuk ion, yaitu:

1. Organik-N akan diuraikan menjadi ion nitrat (NO_3^-)
2. Organik-P akan diuraikan menjadi ion fosfat (PO_4^{3-})
3. Organik S akan diuraikan menjadi ion sulfat (SO_4^{2-})
4. Organik-C akan diuraikan menjadi $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$

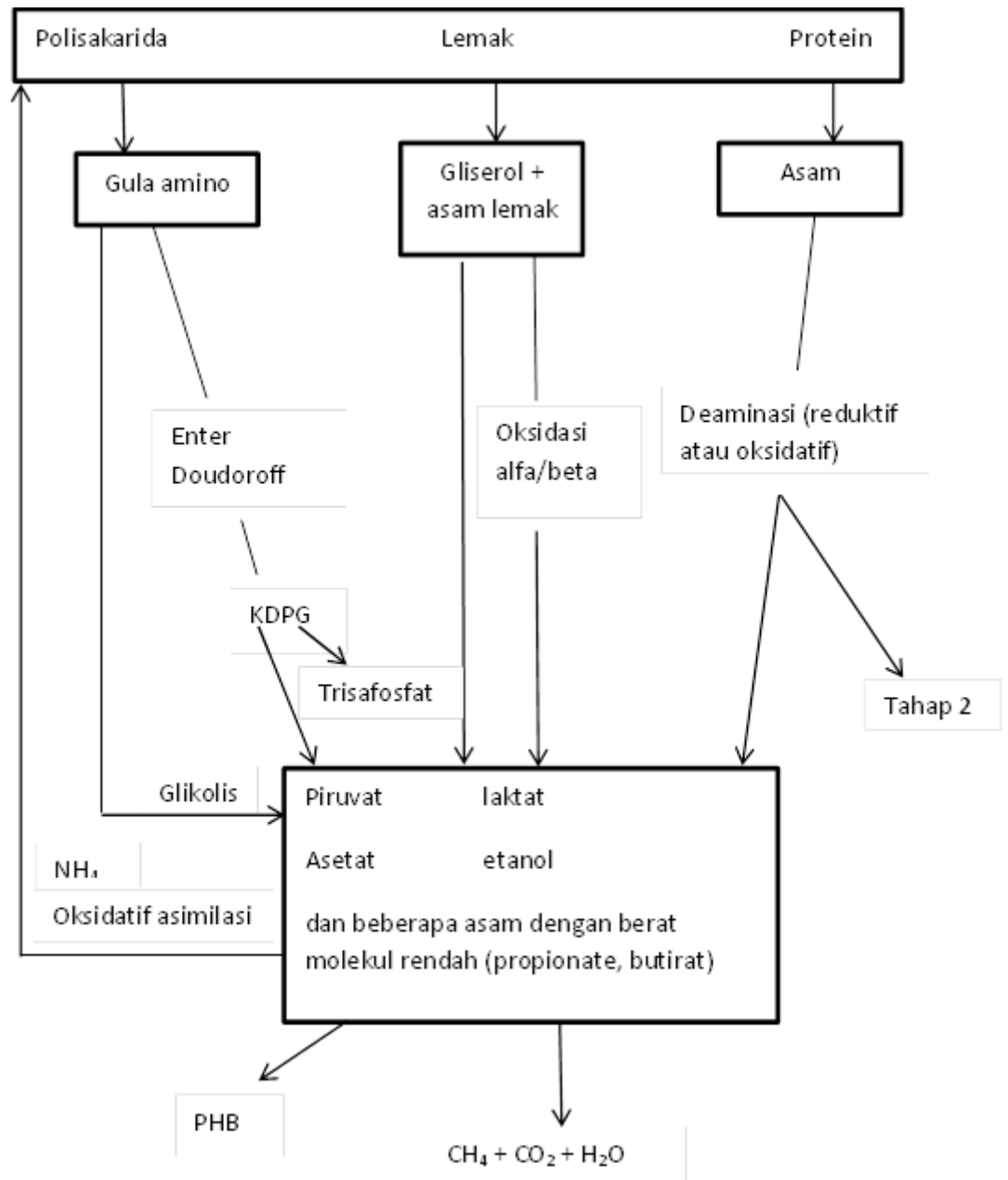
Sebagian dari hasil uraian akan digunakan bakteri untuk membentuk sel baru (biomassa sel baru) dan sebagian lagi digunakan mikroalga untuk tumbuh dan berkembang juga membentuk biomassa sel baru. Mikroalga sendiri memiliki klorofil dan dapat berfotosintesis. Proses fotosintesis inilah, dengan bantuan dari cahaya matahari akan menghasilkan produk berupa oksigen. Akibatnya air limbah akan melarutkan oksigen baru, sehingga kadar oksigen meningkat. Oksigen yang terlarut tersebut akan digunakan bakteri untuk menguraikan senyawa organik, sehingga konsentrasi zat organik dalam air limbah akan menurun. (Suriawiria, 1986)



Gambar 2.1. Simbiosis alga dan bakteri

Simbiosis antara mikroalga dan bakteri dalam menurunkan zat organik ini dinilai lebih ramah lingkungan dan cukup efektif. Hal ini dikarenakan pengolahan yang memanfaatkan alga menghasilkan oksigen, dan bukannya menghasilkan gas rumah kaca seperti sebagian besar pengolahan air limbah. Pengolahan air limbah yang menggunakan zat kimia biasanya menghasilkan gas rumah kaca seperti CO₂ dan merupakan salah satu penyumbang terbesar yang dapat meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer bumi. (Kawaroe, dkk. 2010)

Pemecahan zat organik oleh bakteri dilakukan dalam keadaan aerob. Zat organik yang terkandung dalam air limbah bermacam-macam sehingga perlu telaah khusus dan identifikasi untuk mengetahui zat organik apa saja yang terkandung di dalamnya. Bakteri mendegradasi zat organik dengan memecahnya menjadi ikatan yang lebih sederhana. Proses degradasi zat organik dapat dilihat dari **Gambar 2.2.** dan **Gambar 2.3.:**

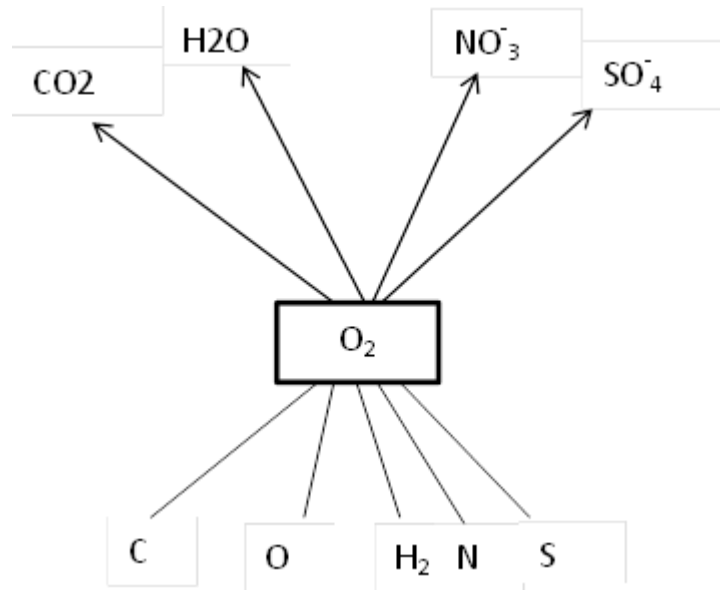


Keterangan:

PHB : poli-beta-hidroksi-butyric acid

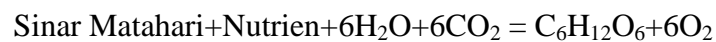
KDPG : 2-keto-3-deoxy-6-P-glukonate

Gambar 2.2. Proses degradasi organik (tahap 1)



Gambar 2.3. Proses degradasi organik (tahap 2)

Proses degradasi organik pada tahap satu merupakan penguraian zat organik berupa karbohidrat, protein dan lemak, ikatan kompleks dari ketiganya diuraikan menjadi ikatan yang lebih sederhana. Hasil dari degradasi ini merupakan ion-ion NO₃⁻, SO₄²⁻ dan nutrisi lain yang berikutnya akan digunakan mikroalga sebagai sumber nutrisi. Mikroalga menggunakan nutrisi tersebut dalam proses fotosintesis dengan produk hasil berupa karbohidrat dan organik lain. Organik ini akan digunakan lagi oleh bakteri sebagai sumber energi. Simbiosis inilah yang dimanfaatkan untuk menurunkan organik dalam air limbah. (Waluyo, 2009) Simbiosis antara alga dan bakteri dapat dilihat pada **Gambar 2.1**. Reaksi yang terjadi selanjutnya adalah reaksi fotosintesis yaitu:



Sistem pengolahan menggunakan alga dapat digunakan untuk mengolah air limbah yang dihasilkan manusia, limbah peternakan, limbah hasil agro-industri, dan limbah industri. Sistem ini biasanya dilakukan di pengolahan tingkat *secondary treatment* dan *tertiary treatment*. Dalam *tertiary treatment* proses yang terjadi adalah biologis atau kimiawi (Oswald, 1988b). Alga dapat digunakan dalam pengolahan air limbah untuk berbagai tujuan, seperti untuk removal BOD, COD, coliform bacteria, dan berbagai jenis logam berat serta nutrisi.

Kandungan zat organik seperti BOD yang berlebih dapat menguras penerimaan *dissolved oxygen* (DO) oleh air yang mengakibatkan anaerobiosis, atau keadaan dimana minimnya oksigen dalam air. Karena itulah removal BOD sering menjadi tujuan utama dalam pengolahan air limbah. Sedangkan removal COD berguna dalam pengolahan air sebagai salah satu upaya menurunkan kandungan zat organik. Zat organik mempunyai peran penting sebagai makanan bagi mikroorganisme, namun di sisi lain, kandungannya yang berlimpah dalam air limbah *greywater* akan merusak keseimbangan ekosistem perairan.

1.2. Alga

Mikroalga adalah organisme tumbuhan paling primitif berukuran seluler yang umumnya dikenal juga sebagai fitoplankton. Seluruh perairan di dunia merupakan habitat hidup alga, mulai dari samudera, laut, danau, sungai, dan perairan sejenis serta tempat-tempat lembab. (Kawaroe, dkk. 2010)

Sebagai salah satu jenis mikroorganisme eukariotik, alga, baik mikroalga maupun makroalga sudah banyak dimanfaatkan manusia dalam teknologi yang mendukung kehidupan manusia. Terutama sifat alaminya yang membutuhkan nutrisi dan zat organik untuk bertahan hidup digunakan dalam berbagai penelitian terkait *removal* zat organik dan nutrisi dalam pengolahan air limbah.

Keberadaan klorofil dan senyawa lain dalam alga membantu dalam proses fotosintesis. Namun pada alga, tidak ada keberadaan daun, batang, dan akar sejati seperti pada tanaman. Alga dapat dikategorikan sebagai mikroorganisme multiseluler maupun uniseluler. Sebagian besar alga termasuk *photoautotrophic* dan dapat melakukan fotosintesis. Beberapa jenis alga termasuk kemo heterotrof, beberapa jenis tersebut mendapatkan energi dengan reaksi kimia seperti nutrisi dan senyawa organik yang terkandung dalam air. Beberapa penelitian menyatakan bahwa mikroalga dapat mengurangi gas CO₂ dengan fotosintesis lebih baik daripada tumbuhan sejati. (Singh & Singh, 2014)

1.2.1. Morfologi Alga

Alga memiliki morfologi yang bermacam-macam tergantung spesies dan jenisnya. Karena merupakan organisme uniseluler dan multiseluler, ada beberapa jenis alga yang hanya memiliki satu sel, dan ada juga yang hidup berkoloni dan dianggap sebagai multisel. Alga, sebagaimana protista eukariotik yang lain, mengandung nukleus yang dibatasi oleh membran. Benda-benda lain yang ada di dalamnya adalah pati dan butir-butir seperti pati, tetesan minyak dan vakuola. Setiap sel mengandung satu atau lebih kloroplas yang dapat berbentuk pita atau seperti cakram-cakram diskrit (satuan-satuan tersendiri) sebagaimana yang terdapat pada tumbuhan hijau. Di dalam matriks kloroplas terdapat gelembung-gelembung pipih bermembran yang dinamakan tilakoid. Membran tilakoid berisikan klorofil dan pigmen-pigmen pelengkap yang merupakan suatu reaksi cahaya pada fotosintesis (Pelczar & Chan, 2005).

Penelitian ini menggunakan air yang mengandung alga yang kemudian ditumbuhkan di media air lainnya. Warna air tersebut memiliki dominasi warna hijau sehingga hipotesis awal adalah spesies dominan adalah alga hijau. Salah satu spesies alga hijau yang paling umum ditemukan di perairan adalah spesies *Chlorella*. Spesies ini merupakan uniselular yang termasuk dalam filum *Chlorophyta* dan memiliki dua jenis klorofil yaitu klorofil a dan klorofil b. Kecepatan pertumbuhan spesies ini adalah 0,66/ hari pada suhu 30°C. Terkadang spesies ini memiliki satu hingga 8 flagel. Spesies ini juga sering digunakan untuk menurunkan CO₂ dalam air. Penelitian menunjukkan bahwa spesies tertentu seperti *Chlorella vulgaris* dapat menurunkan CO₂ hingga 251,64 mg/l/hari (Singh & Singh, 2014).

Spesies lain seperti *Scenedesmus sp.* yang termasuk dalam keluarga *Scenedesmaceae* sering ditemukan di air sungai dan jarang ditemukan di air payau. *Scenedesmus* merupakan alga yang hidup dengan berkoloni. Koloni tersebut terdiri dari dua, empat, atau delapan sel yang berbaris lurus maupun zigzag. Spesies ini juga termasuk dalam kategori alga hijau. Ada banyak spesies lain yang telah dimanfaatkan dalam

kehidupan manusia, contohnya jenis algae hijau-biru *Spirulina sp.* dan algae coklat *Hikizia fusiforme* yang menjadi bahan suplemen dan konsumsi (Singh & Singh, 2014).

1.2.2. Reproduksi Alga

Alga memiliki daur hidup yang bergantung pada lingkungannya. Reproduksi dapat dilakukan secara seksual dan aseksual, namun hal tersebut tidak dapat dilakukan apabila faktor lingkungan tidak mendukung. Beberapa spesies dapat hidup di air tawar, namun ada juga yang hanya bisa ditemukan di laut. Lingkungan juga tidak menjamin lama masa hidup alga bertahan lama. Temperatur dan intensitas cahaya adalah dua faktor yang paling mempengaruhi laju pertumbuhan alga.

Pada *growth rate* (GR) berbeda-beda tergantung pada spesies alga. Untuk *Chlorella sp.* memiliki 1,099/hari dengan temperatur optimum 25 °C pada air tawar yang bersih. Pada kondisi di mana tidak ada atau minim CO₂, alga akan menguning dan kehilangan klorofil. Seperti pada spesies *Synechococcus lividus* yang termasuk dalam cyanobacteria, telah diteliti bahwa spesies tersebut kehilangan klorofil dan berubah menjadi kuning setelah pengurangan kadar CO₂ selama 120 jam (Singh & Singh, 2014).

1.2.3. Klasifikasi Alga

Terdapat beberapa divisi dalam klasifikasi alga. Berikut adalah pengelompokan berdasarkan warna pigmen yang terkandung dalam alga beserta habitat biasa jenis tersebut ditemukan dan jumlah flagel yang dapat dilihat pada **Tabel 2.1.** (Kawaroe, dkk. 2010):

Tabel 2.1. Klasifikasi Alga

Divisi	Nama Umum	Pigmen	Jumlah Flagel	Habitat
Cyanophyta	cyanobacteria; mikroalga hijau-biru	klorofil a, klorofil-c, betakaroten, dan xantofil	tidak ada	Air tawar, air laut, air payau

Divisi	Nama Umum	Pigmen	Jumlah Flagel	Habitat
ProChlorophyta		Klorofil a dan klorofil-b, karotenoid	7 tidak ada	Air laut
Chlorophyta	mikroalga hijau	Klorofil a (klorofil-b kadang termasuk)	1, 2-8	Air tawar, air laut, air payau
Charophyta	stonewarts	klorofil a, b, alpha, beta, dan gamma karoten, xantofil, thylakoid	2	Air tawar, air payau
Euglonophyta	euglonoid	klorofil a, c, betakaroten, fukosantin, xantofil, thylakoid	1,2,3	Air tawar, air laut, air payau
Phaeophyta	mikroalga coklat	klorofil a, c, betakaroten, fukosantin, xantofil, thylakoid	2	Air tawar (jarang), air laut, air payau
Chrysophyta	mikroalga emas dan hijau-kuning (termasuk diatoms)	klorofil a, c, alpha dan betakaroten, minyak chrysolaminaran	1,2	Air tawar, air laut, air payau
Phyrrhophyta	dinoflagelata	klorofil a, c, alpha dan betakaroten, xantofil, thylakoid	2	Air tawar, air laut, air payau
Crypthophyta	cryptomonads	klorofil a, c, alpha dan betakaroten, fikobilin, thylakoid	2	Air tawar, air laut, air payau
Rhodophyta	mikroalga merah	klorofil -a, d, R-C-fikosianin, R-C-fikoeritrin, alfa, beta karoten, xantofil, thylakoid	tidak ada	Air tawar (beberapa), air laut, air payau

1.3. Parameter

Terdapat dua parameter utama yang menjadi fokus penelitian ini. Parameter ini menjadi acuan penting sebagai penentu kualitas air limbah *greywater*.

1.3.1. Biochemical Oxygen Demand

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah kebutuhan oksigen biokimia oleh mikroorganisme pengurai dalam menguraikan senyawa organik. Dari nilai BOD dapat diketahui kenaikan atau penurunan senyawa organik yang terkandung dalam air limbah *greywater* sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan ODAR.

Nilai BOD didapat dari pengujian DO (*Dissolved Oxygen*) di hari pertama dan hari kelima setelah diinkubasi dalam suhu 20°C. Oleh karena itu BOD biasa juga disebut BOD₅. Selain itu ada juga pengujian BOD dengan masa inkubasi 20 hari, pengujian ini disebut juga BOD₂₀, namun dalam penelitian ini digunakan BOD₅ dikarenakan waktu running reaktor yang dibatasi selama 14 hari.

1.3.2. Chemical Oxygen Demand

COD atau *Chemical Oxygen Demand* merupakan kebutuhan kimiawi oleh mikroorganisme dalam menguraikan senyawa organik. Nilai COD yang terkandung dalam air limbah biasanya lebih tinggi dibandingkan nilai BOD. Menurut Rittman dan McCarty (2001), COD setara sama dengan oksigen yang diperlukan untuk oksidasi penuh senyawa karbon per berat sel unit. Nilai COD ini seringkali digunakan untuk mengukur karakteristik limbah.

1.3.3. Parameter Terkait

1.3.3.1. Klorofil a

Klorofil yang terdapat pada alga dapat memudahkan identifikasi jenis alga. Hal ini dikarenakan alga dibagi menjadi beberapa kelompok berdasarkan warna tubuhnya, yang didapat

dari klorofil. Klorofil yang dijadikan sebagai parameter keberadaan dan pertumbuhan alga adalah klorofil a. Klorofil a merupakan pigmen yang paling umum terdapat pada fitoplankton sehingga konsentrasi fitoplankton sering dinyatakan dalam konsentrasi klorofil a (Parsons dkk, 1984).

Klorofil a fitoplankton adalah suatu pigmen aktif dalam sel tumbuhan yang mempunyai peranan penting di dalam proses berlangsungnya fotosintesis di perairan. Semua sel berfotosintesis mengandung satu atau beberapa pigmen berklorofil (hijau coklat, merah atau lembayung), sementara itu dalam mata rantai makanan (food chain) di perairan, fitoplankton mempunyai fungsi sebagai produsen primer dimana organisme ini mampu mengubah bahan anorganik menjadi bahan organik melalui proses fotosintesis, untuk itu maka kandungan klorofil a digunakan sebagai *standing stock* fitoplankton yang dapat dijadikan produktivitas primer suatu perairan (Pugesehan, 2010).

1.3.3.2. *Dissolved Oxygen (DO)*

Dissolved Oxygen atau oksigen terlarut merupakan parameter umum yang sering dijadikan salah satu acuan dalam menentukan kualitas air baik air minum maupun air limbah. Dalam beberapa penelitian telah dibuktikan bahwa alga menggunakan senyawa organik dan reaksi karbon yang terjadi sebagai sumber dan menghasilkan oksigen saat melakukan fotosintesis. Masuknya oksigen ke dalam air tergantung pada tekanan udara, suhu, dan salinitas. Penempatan arus pada permukaan air akan memudahkan oksigen masuk, disamping dapat dilakukan pula penambahan udara dengan menggunakan aerator. Pertukaran oksigen di protein skimmer sudah baik dan sangat efektif. Oksigen dalam jumlah yang berlebihan, berpengaruh pada pertumbuhan yang beberapa alga cyanobacteria (alga hijau-biru), diatomae dan alga filament.

Oksigen terlarut adalah besarnya kandungan oksigen yang terlarut dalam air yang biasa dinyatakan mg DO/l. Kelarutan oksigen di perairan dipengaruhi oleh suhu, tekanan parsial gas-gas yang ada di udara maupun di air, kadar garam dan unsur-unsur yang mudah teroksidasi di dalam perairan. Semakin meningkat suhu air, kadar garam dan tekanan gas-gas terlarut maka semakin berkurang kelarutan oksigen dalam air (Wardoyo, 1981).

1.3.3.3. Perlakuan (Mixing dan Aerasi)

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil modifikasi *oxidation ditch* yang dijadikan reaktor alga. Dalam modifikasi tersebut, untuk keberlangsungan hidup alga diperlukan perlakuan khusus yaitu mixing dan aerasi. Aerasi berguna untuk memasukkan udara ke dalam air guna memberi energi pada alga. Gas yang dibutuhkan alga untuk tumbuh dan berkembang biak adalah CO₂, dan karena dalam udara terkandung bermacam-macam gas maka aerasi menggunakan pompa dibutuhkan untuk menjaga alga agar tetap berregenerasi.

Mixing atau pengadukan dilakukan sebagai salah satu perlakuan untuk menjaga alga tetap hidup dan berkembang biak. Pengadukan berfungsi agar alga yang melayang dalam air berrotasi dan dapat saling bertukar tempat. Hal ini akan membuat intensitas cahaya yang dapat diterima alga lebih merata dibandingkan tidak dilakukannya pengadukan.

Idealnya, mikroorganisme dalam zona tertentu harus terkena cahaya dalam rentang waktu tertentu, kemudian dipindahkan ke tempat yang gelap untuk mengoptimalkan produktivitasnya (Richmonds, dkk. 2003). Oleh karena itu diperlukan pengadukan untuk menciptakan kondisi yang mirip.

1.3.3.4. Temperatur

Sebagai mikroorganisme dengan daur hidup yang singkat, alga memiliki batas temperatur tertentu. Untuk kebanyakan mikroalga, suhu 15-25°C merupakan suhu optimal untuk berfotosintesis, kenaikan atau penurunan temperatur akan mempengaruhi kehidupan alga. Saat suhu hampir mencapai optimum, proses fotosintesis mikroalga cenderung menjadi jenuh terutama dengan intensitas cahaya yang rendah. Sedangkan pada temperatur supra-optimum atau melebihi optimum, respirasi dan fotorespirasi meningkat drastis. (Shuterlands, dkk. 2015)

1.3.3.5. Intensitas Cahaya

Cahaya terutama cahaya matahari merupakan faktor penting dalam fotosintesis alga. Tanpa cahaya, alga tidak dapat berfotosintesis dan menghasilkan oksigen. Karena itu ketersediaan dan intensitas sangatlah penting. Kedalaman juga menjadi faktor penting terhadap intensitas cahaya yang diterima alga. Setiap peningkatan kedalaman akan ada penurunan intensitas cahaya yang diterima. Selain itu banyaknya biomassa atau alga yang terkandung dalam air juga mempengaruhi pemerataan intensitas cahaya yang diterima. Cahaya diserap oleh pigmen dalam alga yang kemudian disebarkan ke seluruh sel. Namun jika sel alga sudah jenuh dengan intensitas cahaya maka cahaya bias jadi dibiaskan ke tempat lain. (Shuterlands, dkk. 2015)

1.3.3.6. Derajat Keasaman (pH)

Tinggi rendahnya pH dapat mempengaruhi proses fotosintesis Alga. Nilai pH dapat mempengaruhi keberadaan ammonia bebas dan penyerapan nutrisi pada Alga, nilai maksimal untuk pH yang diizinkan dalam air limbah untuk bias dijadikan tempat hidup Alga adalah tidak boleh lebih dari 9,5. Karena itu diperlukan kontrol setiap hari untuk mengendalikan nilai pH air dalam reaktor. (Sutherland, dkk. 2015)

1.3.3.7. Total Suspended Solids (TSS)

Total Suspended Solids mempunyai kaitan erat dengan BOD. Terutama pada perlakuan aerasi dan *mixing*, TSS atau padatan yang berasal dari kumpulan mikroorganisme adalah salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan alga. Semakin besar nilai TSS, maka semakin banyak alga yang terkandung dalam air limbah, dengan begitu kandungan BOD juga akan terpengaruh. Semakin besar nilai TSS maka penurunan nilai BOD akan semakin besar. (McCarty & Rittmann, 2001)

1.4. Acuan Penelitian

Penggunaan alga sebagai bioremediasi sekaligus dikembangkan sebagai bahan bakar bukanlah hal baru. Terdapat beberapa penelitian yang dijadikan acuan. Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan kemampuan alga dalam menurunkan zat organik berupa BOD, dan COD dapat dilihat pada **Tabel 2.2.** :

Tabel 2.2. Acuan Penelitian Terkait

Peneliti	Limbah	Keterangan
Malla & Khan, dkk. 2015	<i>Sewage drains</i> (Limbah domestik dan industri)	Removal COD dan BOD berturut-turut adalah 27 % dan 31 % menggunakan alga spesies <i>Chlorella minutissima</i>
Chandra & Usha, dkk. 2016	Effluen industri kertas	Removal COD dan BOD berturut-turut adalah 75 % dan 82 %
Colak & Kaya, 1988	Limbah domestik	Removal COD dan BOD berturut-turut adalah 67,2 % dan 68,4 %
El-Kassas & Mohamed, 2014	Limbah tekstil	Konsentrasi awal COD 51,2 mg/l dengan efisiensi removal hingga 69,90 %