

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Cair Karet

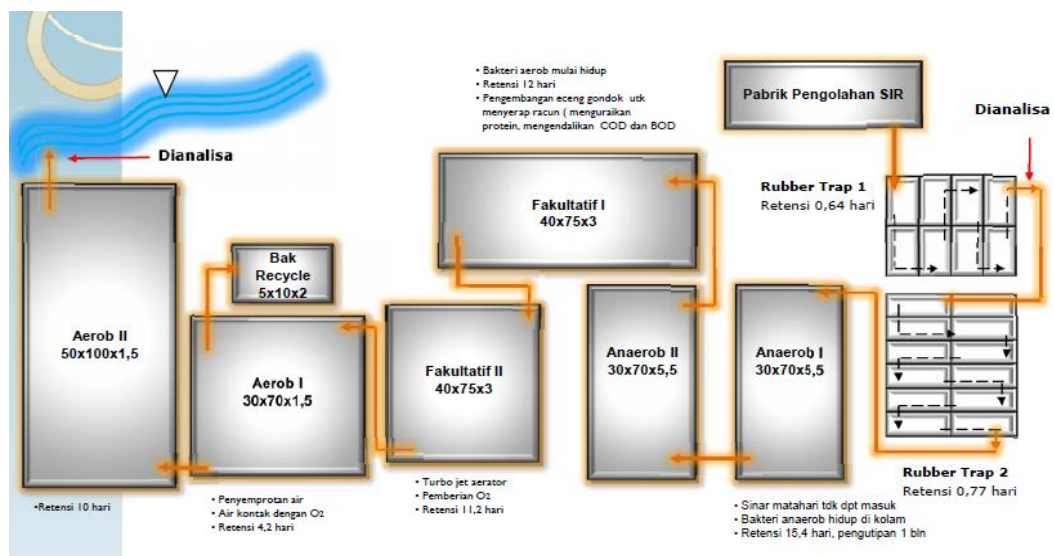
Industri karet remah berbahan baku lateks kebun menghasilkan limbah cair yang bersumber dari proses koagulasi, penggilingan, peremahan, dan pencucian.

Limbah cair industri karet remah berwarna putih keruh, mengandung padatan tersuspensi, terlarut maupun terendap. Limbah cair industri karet remah bersifat asam dengan nilai pH berkisar 4,2-6,3. Hal ini disebabkan oleh penggunaan asam formiat pada proses koagulasi lateks.

Limbah cair industri karet remah memiliki nilai COD tinggi yang mengindikasikan bahwa padatan yang terdapat pada limbah cair industri karet remah merupakan senyawa organik. COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mendegradasi bahan organik secara kimia di dalam air limbah sedangkan BOD merupakan parameter yang menentukan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mendegradasi bahan organik secara biologis di dalam air limbah. Air limbah pabrik karet remah berbahan baku lateks kebun memiliki nilai COD berkisar antara 3.000-5.000 mg/L dan BOD 2.300- 2.700 mg/L dengan rasio COD:BOD sekitar 1,5 sehingga tergolong limbah yang mudah terurai secara biologis. Selain itu, air limbah pabrik karet berbahan baku lateks kebun

mengandung senyawa nitrogen sebesar 100-300 mg/L N-NH₃ dan fosfor sebesar 20 mg/L P-PO₄ (Utomo, 2012). Senyawa-senyawa tersebut berperan pada terjadinya pengkayaan badan air (eutrofikasi).

Pengolahan air limbah bertujuan untuk mengurangi BOD, partikel tercampur, membunuh organisme patogen, menghilangkan bahan nutrisi, komponen beracun, serta bahan yang tidak dapat didegradasikan agar konsentrasinya menjadi lebih rendah, sehingga diperlukan pengolahan secara bertahap agar bahan-bahan di atas dapat dikurangi. Limbah cair yang dihasilkan di Unit Pabrik Karet Way Berulu dikelola secara biologis yang menggunakan sistem kolam anaerob-fakultatif-aerob. Sistem ini merupakan suatu sistem pengolahan yang sederhana, mudah dioperasikan, murah, dan kualitas hasil olahannya dapat memenuhi kriteria baku mutu yang berlaku. Sarana pengolahan air limbah yang digunakan oleh Unit Pabrik Karet Way Berulu terdiri atas dua unit kolam *rubber trap*, dua unit kolam anaerob, dua unit kolam fakultatif, dua unit kolam aerob, dan satu kolam *recycle*.



Gambar 1. *Flow* proses IPAL PTPN VII Unit Way Berulu.

Sumber: PTPN VII Unit Way Berulu (2014)

Efluen dari IPAL Unit Pabrik Way Berulu sudah memenuhi baku mutu limbah cair menurut Kep-51/MENLH/ 10/1995. Parameter dan baku mutu serta analisis efluenair limbah PPKR Unit Way Berulu disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter dan baku mutu serta analisis efluen air limbah Unit Pabrik Karet Way Berulu.

Parameter	Satuan	Baku Mutu*	Hasil Analisis Rata-Rata Efluen				
			2010	2011	2012	2013	2014 s.d Juni
pH	-	6-9	7.67	7.79	7.73	7.51	7.68
BOD	mg/liter	maks. 60	14.92	13.52	17.59	9.29	10.40
COD	mg/liter	maks. 200	32.21	32.79	86.92	64.84	67.62
PTT	mg/liter	maks. 100	17.5	13.54	34.71	30.18	18.83
NH ₃	mg/liter	maks. 10	4.62	5.52	1.85	0.37	0.27
N _{total}	mg/liter	maks. 5	4.81	8.30	5.00	4.38	5.65

Sumber: PTPN VII Unit Way Berulu (2014)

2.2. Mikroalga

Mikroalga merupakan organisme autotrof yang memetabolisme CO₂ menjadi biomasa CH₂O dengan menggunakan cahaya dan air melalui proses fotosintesis sehingga diklasifikasikan sebagai tumbuhan. Morfologi mikroalga berbentuk uniseluler atau multiseluler tetapi belum ada pembagian fungsi organ yang jelas pada sel-sel komponennya (Romimohtarto, 2004). Mikroalga memiliki kemampuan untuk mengubah energi matahari menjadi energi kimia (Handayani *et al.*, 2012). Menurut Kabinawa (2001), mikroalga tergolong dalam tumbuhan tingkat rendah. Mikroalga termasuk filum *Talofita* karena tidak memiliki akar, batang dan daun sejati.

Spesies mikroalga dikarakterisasi berdasarkan kesamaan morfologi dan biokimia (Diharmi, 2001). Sel mikroalga dapat dibagi menjadi sepuluh divisi, dan masing-masing divisi memiliki karakteristik yang ikut berkontribusi dalam kelompoknya,

namun terdapat perbedaan antar spesies. Karakteristik yang dapat digunakan untuk membedakan divisi mikroalga antara lain tipe jaringan sel, ada tidaknya flagella, tipe komponen fotosintesis, dan jenis pigmen sel. Selain itu morfologi sel dan bagaimana sifat sel yang menempel berbentuk koloni/filamen juga dapat digunakan sebagai pembeda masing-masing kelompok (Graham dan Wilcox, 2000).

Isnansetyo dan Kurniastuty (1995), menyatakan bahwa terdapat empat kelompok mikroalga berdasarkan pigmen yang terkandung di tubuh mikroalga antara lain: diatom (*Bacillariophyceae*), alga hijau (*Chlorophyceae*), alga emas (*Chrysophyceae*) dan alga biru (*Cyanophyceae*). Menurut Eryanto *et al.* (2003) dalam Harsanto (2009) penyebaran habitat mikroalga biasanya di air tawar (*limnoplankton*) dan air laut (*haloplankton*), sedangkan sebaran berdasarkan distribusi vertikal di perairan meliputi: plankton yang hidup di zona euphotik (*ephiplankton*), hidup di zona disphotik (*mesoplankton*), hidup di zona aphotik (*bathylankton*) dan yang hidup di dasar perairan/bentik (*hypoplankton*).

Mikroalga dapat melakukan fotosintesis karena mempunyai pigmen fotosintetik hijau (klorofil). Mikroalga mampu berfotosintesis dan mereduksi karbondioksida yang berada di alam. Dibandingkan dengan tanaman tingkat tinggi, mikroalga memiliki kemampuan berfotosintesis yang sangat tinggi yaitu sekitar 3–8% sinar matahari mampu dikonversikan menjadi energi. Mikroalga juga memiliki kemampuan mensintesis lemak yang tinggi yaitu sekitar 40–86% berat kering biomassa. Selain itu, mikroalga mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrim yaitu salinitas tinggi atau lingkungan yang tercemar (Verma *et al.*, 2010).

Pertumbuhan mikroalga dalam media ditandai dengan ukuran sel bertambah besar dan jumlah sel bertambah banyak. Fase pertumbuhan mikroalga terdiri atas empat fase yaitu fase adaptasi, fase logaritmik/eksponensial, fase stasioner, dan fase kematian (Hidayah, 2014).

1. Fase adaptasi

Fase ini terjadi setelah penambahan inokulum ke media kultur. Populasi tidak mengalami perubahan karena sel beradaptasi dengan lingkungan yang baru sebelum pembiakan. Ukuran sel membesar tetapi belum terjadi pembelahan sel.

2. Fase logaritmik/eksponensial

Pada fase ini terjadi pembelahan sel dengan laju pertumbuhan sel secara cepat. Sel-sel berada dalam keadaan stabil, dan jumlah sel bertambah dengan kecepatan konstan dan nilainya dipengaruhi oleh ukuran sel, iluminasi cahaya, dan suhu. Pada kondisi optimum, laju pertumbuhan dapat maksimal.

3. Fase stasioner

Jumlah sel cenderung konstan selama fase stasioner. Pertumbuhan mulai mengalami penurunan dibandingkan dengan fase logaritmik. Pada fase ini laju reproduksi sama dengan laju kematian sehingga kepadatannya tetap. Hal ini disebabkan oleh habisnya nutrisi dalam medium atau akibat menumpuknya hasil metabolisme beracun sehingga pertumbuhan berhenti.

4. Fase kematian

Fase kematian ditandai dengan penurunan jumlah organisme kultur setelah melewati fase stasioner. Penurunan kepadatan ditandai dengan perubahan kondisi optimum yaitu temperatur, cahaya, pH, dan hara.

2.3 Jenis Mikroalga

Mikroalga adalah sumber biomassa yang di dalamnya terkandung komponen-komponen penting diantaranya protein, karbohidrat, vitamin, lemak, dll.

Kandungan protein pada mikroalga sangat tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai *food suplemen* melalui purifikasi (Hadiyanto, 2012). Karbohidrat yang terkandung dalam mikroalga berupa pati, glukosa, gula, dan polisakarida lainnya. Karbohidrat dalam mikroalga dapat dimanfaatkan untuk bahan baku bioetanol yang diproduksi secara fermentasi. Mikroalga juga mengandung vitamin yang mampu meningkatkan nilai gizi dari sel alga. Vitamin yang terkandung pada mikroalga adalah vitamin A, B, B1, B2, B6, B12, C, E, biotin, asam folat, dan asam pentotenat (Harun *et al.*, 2010).

Kandungan lemak pada mikroalga berupa gliserol, asam lemak jenuh, dan asam lemak tidak jenuh. Kandungan lipid dari sel alga berkisar antara 1 - 70%, bahkan dapat mencapai 90% untuk kondisi tertentu (Metting, 1996). Faktor yang mempengaruhi komposisi lemak pada mikroalga adalah perbedaan nutrisi, lingkungan dan fase pertumbuhan (Mata *et al.*, 2010). Kandungan lemak yang cukup tinggi pada mikroalga ini merupakan keuntungan lain dibandingkan dengan tanaman yang biasanya hanya menyumbangkan lemak kurang dari 5% dari berat keringnya. Mikroalga memiliki kandungan minyak cukup besar dan dapat digunakan sebagai salah satu bahan baku produksi biodiesel. Kadar minyak pada mikroalga disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar minyak pada mikroalga.

Jenis Alga	Kadar Minyak (% bk)
<i>Botryococcus braunii</i>	25–75
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	21
<i>Chlorella minutissima</i>	57
<i>Chlorella vulgaris</i>	14-22
<i>Chlorella</i> sp.	28–32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca</i> sp.	16–37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Dunaliella salina</i>	6-25
<i>Dunaliella</i> sp.	17-67
<i>Isochrysis galbana</i>	20-35
<i>Isochrysis</i> sp.	25–33
<i>Monallanthus salina</i>	> 20
<i>Nannochloris</i> sp.	20–35
<i>Nannochloropsis</i> sp.	31–68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35–54
<i>Nitzschia</i> sp.	45–47
<i>Pavlova salina</i>	30
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20–30
<i>Porphyridium cruentum</i>	9-14
<i>Pyrrrosia leavis</i>	69
<i>Scendesmus obliquus</i>	12-14
<i>Schizochytrium</i> sp.	50–77
<i>Skeletonema costatum</i>	13-51
<i>Spirulina maxima</i>	6-7
<i>Synechococcus</i> sp	11
<i>Tetraselmis sueica</i>	15–23
<i>Zitzschia</i> sp.	45-47

Sumber: Becker (2004); Chisti (2007); Li *et al.* (2008); Teresa *et al.* (2010)

Nannochloropsis sp. merupakan mikroalga berwarna kehijauan, selnya berbentuk bola, berukuran kecil dengan diameter 2-4 μm . *Nannochloropsis* dapat berfotosintesis karena memiliki klorofil. Mikroalga ini tidak hanya memiliki kapasitas untuk memproduksi produk alga yang bernilai tinggi tetapi juga memiliki kemampuan untuk berkembang biak hanya dengan menggunakan cahaya matahari, karbon dioksida dan air laut. *Nannochloropsis* dapat tumbuh pada salinitas 0-35 ppt. Menurut Fulks dan Main (1991), kisaran salinitas yang optimum alga adalah 25 ppt- 35 ppt dengan kisaran suhu optimal yaitu 25-

30°C. *Nannochloropsis oculata* dapat tumbuh dengan baik pada kisaran pH 7.0-9.5 (Converti, 2009).

Botryococcus braunii merupakan spesies mikroalga terbaik dalam hal mensintesis berbagai senyawa hidrokarbon (lipida), yaitu antara 26% - 86% dari berat keringnya. Pertumbuhan dan produktivitas lipida *Botryococcus braunii* dipengaruhi oleh nutrisi, suhu, intensitas cahaya dan lama pencahayaannya, salinitas, kandungan nitrogen di dalam media tumbuhnya dan pengaruh keberadaan organisme kompetitor dalam kultur. Upaya untuk meningkatkan produktivitas lipida dalam mikroalga, dapat dilakukan dengan cara mengondisikan mikroalga dalam keadaan stress (tekanan) tertentu (Masterton *et al.*, 2011). Hal ini disebabkan dalam keadaan stress tertentu, mikroalga terstimulasi untuk mensintesis lipida lebih banyak dari keadaan normalnya sebagai bentuk mekanisme mikroalga dalam melakukan perlindungan diri dan adaptasi terhadap kondisi di lingkungan tumbuhnya.

Tetraselmis merupakan mikroalga dari golongan alga hijau (*chlorofyceace*) yang memiliki sel tunggal dengan ukuran 7 – 12 mikron. *Tetraselmis chuii* dapat bergerak aktif seperti seekor hewan karena mempunyai empat buah bulu cambuk (flagela). *Tetraselmis chuii* mempunyai nilai gizi tinggi karena mengandung protein (50%), lemak (20%), karbohidrat (20%), asam amino, vitamin dan mineral (Cresswell, 1989). Kisaran suhu 25°C – 30°C merupakan kisaran suhu yang optimum untuk pertumbuhan *Tetraselmis chuii* (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995). Salinitas bagi *Tetraselmis chuii* sangat penting untuk mempertahankan tekanan osmotik antara protoplasma dengan air sebagai lingkungan hidupnya.

Tetraselmis chuii dapat tumbuh pada salinitas 0 – 35 ppt. Salinitas 30 – 32 ppt merupakan salinitas optimum untuk pertumbuhan *Tetraselmis chuii*. Derajat Kisaran pH yang optimal bagi pertumbuhan *Tetraselmis chuii* adalah 8 – 9,5 (Fogg, 1987).

2.4 Kultivasi Mikroalga

Pertumbuhan mikroalga dipengaruhi oleh nutrien, cahaya, suhu, dan pH. Mikroalga dapat tumbuh dalam media yang mengandung cukup elemen inorganik dan unsur hara makro yaitu nitrogen dan fosfor yang berfungsi dalam pembentukan sel. Sumber nitrogen yang digunakan untuk pertumbuhan mikroalga adalah NO_3^- , NO_2^- atau NH_4^+ . Unsur esensial lainnya yang dapat mempengaruhi produktivitas mikroalga adalah fosfor. Ortofosfat adalah sumber fosfat untuk pertumbuhan alga dan kelebihan fosfat disimpan di dalam butiran sitoplasma yang berdiameter 30-500 nm sebagai polifosfat. Selain itu, mikroalga juga memerlukan unsur mikro seperti besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mg), seng (Zn), silikon (Si), boron (B), molibdenum (Mo), vanadium (V), dan kobalt (Co) dalam jumlah yang relatif sedikit (Amini dan Susilowati, 2010), dan elemen lain seperti iodine dan silikon (Hidayah, 2014).

Mikroalga dapat tumbuh optimum pada temperatur air berkisar 15 - 30°C (Hadiyanto, 2012). Temperatur akan meningkat seiring dengan salinitas dan pengendalian berat jenis air. Temperatur berpengaruh terhadap kerapatan air dan stabilitas kolam air (Hidayah, 2014). Mikroalga dapat tumbuh pada kisaran pH 6,5-9 (Hadiyanto, 2012). Sebagian besar organisme akuatik akan mati pada pH

kurang dari 4 karena banyak ditemukan senyawa amonium yang dapat terionisasi sedangkan pada pH tinggi banyak terdapat amonia yang tak terionisasi dan bersifat toksik (Tebbut, 1992).

Mikroalga membutuhkan cahaya sebagai sumber energi dan karbon dioksida (CO_2) sebagai sumber karbon untuk melakukan fotosintesis. Fotoperiodisitas dan panjang gelombang cahaya sangat perlu dipertimbangkan untuk memenuhi kebutuhan cahaya mikroalga. Selama menembus air, intensitas cahaya dapat berkurang secara eksponensial. Hal ini akan mengakibatkan penurunan absorpsi air, materi dalam air, dan partikel kecil terlarut serta kecepatan fotosintesis menjadi rendah (Hidayah, 2014). Mikroalga termasuk mikroorganisme yang efisien dalam memanfaatkan cahaya matahari dengan produktivitas mencapai 15-20 kali dari produktivitas tanaman budidaya secara konvensional (Kabinawa, 2008). Kultivasi mikroalga diiluminasi baik dengan cahaya matahari maupun cahaya buatan dengan temperatur 27-30°C (Hadiyanto, 2012). Menurut Chisti (2007) biomasa yang diproduksi selama siang hari akan hilang dalam kondisi gelap di malam hari sebanyak 25%.

Beberapa sumber limbah cair dapat digunakan sebagai media kultur dalam budidaya mikroalga karena mengandung nutrisi yang mampu memenuhi kebutuhan mikroalga. Mahdi *et al.* (2012) menggunakan limbah POME yaitu limbah yang dihasilkan industri pengolahan minyak kelapa sawit (*crude palm oil*/CPO) sebagai media tumbuh mikroalga. Hasil penelitian Mahdi *et al.* (2012) laju pertumbuhan mikroalga yang tumbuh dalam medium POME (pH 8) lebih tinggi daripada mikroalga yang tumbuh dalam medium *saline water* (salinitas 10 ppm;

pH 7). Harahap *et al.*(2013) mengkaji potensi *Chlorella* sp. dengan penambahan berbagai konsentrasi limbah cair tahu sebagai substrat pengganti senyawa karbon untuk merangsang pembentukan lipid. Hasil penelitian Harahap *et al.*(2013) menunjukkan perlakuan yang menghasilkan lipid tertinggi pada pemeliharaan *Chlorella* sp. dengan media penambahan limbah cair tahu 15% pada hari ke-42, sebesar 0,5160 g/L.

Pengembangbiakan mikroalga dapat dilakukan menggunakan sistem terbuka (*open pond*) atau sistem tertutup (*photobioreactors*). *Open ponds* merupakan sistem kolam terbuka. Kultivasi mikroalga dengan sistem *open ponds* dioperasikan secara kontinyu. Umpan segar untuk kultivasi mikroalga mengandung nutrisi untuk pertumbuhan mikroalga berupa nitrogen, fosfor, dan garam inorganik. Biaya operasional sistem *open ponds* lebih rendah dibandingkan dengan sistem *photobioreactor*. Namun sistem ini memiliki kelemahan yaitu membutuhkan area yang luas, sering terjadi kontaminasi dari luar sehingga membatasi produktivitas mikroalga, mekanisme pengadukan yang kurang efisien menyebabkan laju transfer masa kurang baik sehingga produktivitas biomassa rendah (Ugwu, 2007).



Gambar 2. Fotobioreaktor (a), *open pond* (b)(Amini dan Susilowati, 2010)

Photobioreactor merupakan sistem yang terbuat dari material tembus pandang agar cahaya matahari dapat menembus material dan dapat digunakan oleh mikroalga untuk fotosintesis. *Photobioreactor* umumnya diletakkan di lapangan terbuka. *Photobioreactor* memiliki rasio luas permukaan dan volume yang besar. Produktivitas mikroalga menggunakan *photobioreactor* dapat mencapai 13 kali lipat total produksi dengan menggunakan sistem *open raceway pond*. Optimasi pertumbuhan mikroalga dalam fotobioreaktor dapat dicapai dengan memasok sumber energi, nutrisi penting untuk memenuhi kebutuhan metabolismenya, jenis inokulum yang baik dan kondisi fisikokimiawi yang optimal (Dianursanti, 2012). Menurut Harun *et al.* (2010) perbandingan antara penggunaan sistem *open pond* dengan sistem *photobioreactor* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan antar penggunaan sistem

Faktor	<i>Open pond</i>	<i>Photobioreactor</i>
Ruang yang dibutuhkan	Tinggi	Rendah
Kehilangan air	Sangat tinggi	Rendah
Kehilangan CO ₂	Tinggi	Rendah
Konsentrasi O ₂	Rendah	Tinggi, terjadi <i>build up</i>
Temperatur	Bervariasi	Membutuhkan pendingin
Pembersihan	Tidak perlu	Perlu
Kontaminasi	Tinggi	Tidak ada
Kualitas biomasa	Bervariasi	Tergantung produksi
Evaporasi	Tinggi	Tidak ada
Biaya pemanenan	Tinggi	Lebih rendah
Kebutuhan energi (W)	4000	1800

2.5 Pemanenan Mikroalga

Pada industri komersial, panen biomassa yang terbaik dapat dicapai antara 0,3–0,5 g sel kering/L sehingga membuat panen mikroalga sangat sulit dan mahal (Wang *et al.*, 2008). Pemanenan mikroalga yang tepat berdasarkan pola pertumbuhan,

dilakukan pada saat mikroalga mencapai puncak populasi yaitu pada fase eksponensial (Hidayah, 2014). Pemanenan *B. sudeticus* dan *Scenedesmus* sp. yang dilakukan Kawaroe *et al.* (2012) dilakukan pada hari ke-7. Biomassa yang diperoleh dari hasil kultivasi sebesar 0,23 g/L untuk metode filtrasi dan 0,56 g/L untuk metode flokulasi. Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa metode pemanenan flokulasi bisa mendapatkan biomassa lebih banyak dibandingkan dengan metode filtrasi.

Flokulasi dapat digunakan sebagai proses awal untuk mempermudah proses selanjutnya. Flokulasi adalah proses dimana partikel-zat terlarut dalam larutan membentuk agregat yang disebut flok. Proses flokulasi terjadi saat partikel-zat terlarut saling bertumbukan dan menempel satu sama lain. Bahan kimia yang biasa disebut flokulan ditambahkan ke dalam sistem untuk membantu proses flokulasi. Penggunaan flokulan kimia mampu mengendapkan biomassa sebanyak 80% (Andrews *et al.*, 2008). Flokulan kimia dapat digunakan dengan menambah pH pada media panen, misalnya penambahan natrium hidroksida untuk menambah pH menjadi 9 (Hulteberg *et al.*, 2008). Pemanenan biomassa mikroalga dapat dilakukan dengan modifikasi metode flokulan yaitu metode pengendapan dengan menggunakan bahan kimia NaOH dengan perbandingan 1:1 (1 L mikroalga: 1 g NaOH) (Amini, 2005).