

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Cair Karet Remah

Limbah cair pengolahan karet bersumber dari tahap koagulasi, penggilingan dan pencucian. Limbah ini mengandung bahan organik yang berasal dari serum dan partikel karet yang belum terkoagulasi. Serum lateks terdiri atas air, karbohidrat dan inositol, protein dan senyawa nitrogen, asam nukleat dan nukleosida, ion anorganik, dan ion logam (Utomo, 2012).

Pengolahan air limbah bertujuan untuk mengurangi BOD, partikel tercampur, serta 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 pabrik karet remah berbahan baku lateks kebun memiliki nilai COD berkisar antara 3.000- 5.000 mg/L dengan rasio COD: BOD sekitar 1,5 sehingga tergolong limbah yang mudah terurai secara biologis.

Menurut Utomo (2012), limbah cair pabrik karet berbahan baku lateks kebun mengandung senyawa nitrogen dan juga fosfor masing-masing sebesar

100- 300 mg/L N-NH₃ dan 20 mg/L P-PO₄. Kandungan bahan organik pada masing- masing kolam IPAL industri pengolahan karet remah PTPN VII Way Berulu disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik limbah cair karet remah pada tiap kolam

Parameter	Satuan	Hasil Analisis		
		Fakultatif II	Aerobik I	Aerobik II
N-NH ₃	mg/L	3, 896	4, 125	4, 545
Ntotal	mg/L	5, 078	4, 343	5, 336
P-PO ₄	mg/L	1, 497	1, 300	1, 251
pH	-	8, 290	8, 43	8, 380
suhu	°C	28, 6	28, 2	29
COD	mg/L	612	300	693
DO	mg/L	5, 560	5, 67	5, 560
Salinitas	‰	0	0	0

Sumber: Komalasari, 2015

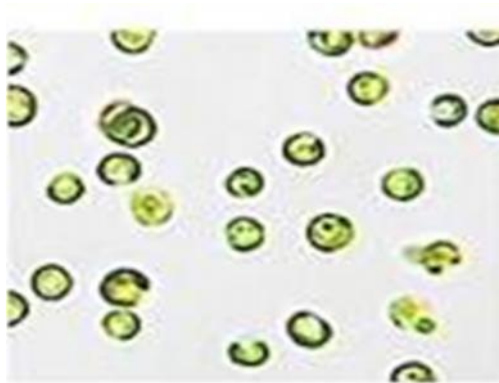
Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa kandungan N dan P dari ketiga kolam tersebut cukup tinggi terutama kolam fakultatif II. Hal ini membuka peluang digunakannya limbah cair karet sebagai media tumbuh alga karena dapat memberikan suplai untuk nutrisi pertumbuhan mikroalga.

2.2. Mikroalga *Nannochloropsis sp*

Mikroalga pada umumnya merupakan tumbuhan renik berukuran mikroskopik (diameter antara 5- 50 µm) yang termasuk dalam kelas alga dan hidup sebagai koloni maupun sel tunggal di seluruh perairan tawar maupun laut. Morfologi mikroalga berbentuk uniseluler atau multiseluler tetapi belum ada pembagian fungsi organ yang jelas pada sel-sel komponennya. Hal itulah yang membedakan mikroalga dari tumbuhan tingkat tinggi (Romimohtarto, 2004). Mikroalga diklasifikasikan menjadi empat kelompok antara lain: diatom (*Bacillariophyceae*),

alga hijau (*Chlorophyceae*), alga emas (*Chrysophyceae*) dan alga biru (*Cyanophyceae*) (Isnansetyo & Kurniastuty, 1995). Eryanto dkk. (2003) dalam Harsonto (2009) menyatakan bahwa penyebaran habitat mikroalga biasanya di air tawar (limnoplankton) dan air laut (haloplankton).

Nannochloropsis sp. merupakan mikroalga berwarna kehijauan, tidak motil, dan tidak berflagel. Selnya berbentuk bola dan berukuran kecil dengan diameter 4- 6µm. Ciri khas dari *Nannochloropsis sp.* adalah memiliki dinding sel yang terbuat dari komponen selulosa (Fachrullah, 2011). Bentuk *Nannochloropsis sp.* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 2. Bentuk *Nannochloropsis sp.* (Waggoner dan Speer, 1999 dalam Nindri, 2013).

Nannochloropsis sp. merupakan pakan yang populer untuk rotifer, *artemia*, dan pada umumnya merupakan organisme penyaring (*filter feeder*) (Anon *et al.*, 2009). Organisme ini biasa dikultur secara semimassal maupun massal karena sering dijadikan sebagai mata rantai makanan atau kultivan pakan alami.

Klasifikasi *Nannochloropsis sp.* adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Chromista
Filum	: Heterokonta
Kelas	: Eustigmatophyceae
Sub-kelas	: Bacillariophycideae
Genus	: <i>Nannochloropsis</i>
Spesies	: <i>Nannochloropsis sp.</i>

Nannochloropsis sp. memiliki kandungan energi yang tinggi diatas 20 kJ/g berat kering dan kandungan total lemak dari berat kering 10,3 % - 16,1 % (Mourente *et al.*, 1990 dalam Maula, 2010). Menurut John dkk.(2011) dan Mata dkk.(2010) serta Chisti (2007) kandungan minyak mikroalga *Nannochloropsis sp.* yaitu 31-68 % per berat kering. Menurut Ernest (2012) kandungan lipid *Nannochloropsis sp.* yaitu sebesar 10% sedangkan menurut Inthe (2012) kandungan lipid *Nannochloropsis sp.* sebesar 39,6%. Kandungan nutrisi yang tinggi berupa protein 52,11 %, karbohidrat 12,32 %, vitamin C 0,85 %, klorofil 0,89 %, dan kalori 48,4 % (Maula, 2010).

Beberapa keunggulan mikroalga sebagai sumber bahan baku biofuel antara lain:

1. Mengandung minyak (lipid) hingga 70%
2. Dapat mengubah CO₂
3. Efisiensi fotosintesis yang tinggi
4. Menghasilkan biomassa yang lebih banyak
5. Pertumbuhan yang lebih cepat

6. Tidak berkompetisi dengan produk pangan
7. Dapat menggunakan air hasil daur ulang sehingga dapat menghemat sumber daya air.
8. Mengurangi emisi gas rumah kaca
9. Dapat bertahan di dalam salinitas tinggi
10. Sesuai dengan iklim Indonesia
11. Dan dapat mempergunakan limbah tertentu sebagai sumber nutrisi (N, P, Si).

Potensi untuk pengembangan mikroalga termasuk *Nannochloropsis sp.* relatif besar melihat dari sifat mikroalga antara lain memiliki waktu generasi yang relatif pendek sehingga dapat diproduksi dalam jumlah besar dan dalam waktu yang juga relatif singkat, sifat-sifat genetiknya dapat lebih mudah diubah sehingga dapat diperoleh mikroorganisme sesuai yang dikehendaki, kandungan protein relatif tinggi, tenaga serta bahan yang diperlukan untuk memproduksikannya tersedia melimpah dan murah, serta dapat dikultur secara massal dan berkesinambungan (Inthe, 2012).

Kandungan minyak mikroalga *Nannochloropsis sp.* juga cukup tinggi yang merupakan salah satu alasan pengembangan biodiesel dari mikroalga jenis ini. Berikut merupakan perbandingan kandungan minyak dari beberapa spesies telah banyak diteliti, seperti yang dikemukakan Gouveia & Oliveira (2009) pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kandungan minyak dari beberapa spesies mikroalga

Mikroalga	Kandungan minyak (% berat kering)
<i>Chlorella sp.</i>	28-32
<i>Chlorella protothecoides</i>	23-55
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca sp.</i>	16-37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis sp.</i>	25-33
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35-54
<i>Monallanthus salina</i>	20
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75
<i>Nannochloris sp.</i>	20-35
<i>Nannochloropsis sp.</i>	31-68
<i>Nitzschia sp.</i>	45-47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20-30
<i>Schizochtrium sp.</i>	50-77

Sumber : John dkk., 2011 & Mata dkk., 2010

Asam lemak yang bervariasi pada mikroalga salah satunya dapat dimanfaatkan untuk biodiesel. Biodiesel merupakan campuran dari *alkali ether* dan asam lemak yang diperoleh dari proses transesterifikasi minyak nabati atau minyak hewani (Shahzad *et al.*, 2010). Biomassa mikroalga merupakan bahan baku utama untuk pembuatan biodiesel dan untuk memperolehnya diperlukan proses pemanenan mikroalga sehingga biomassa dapat diolah lebih lanjut menjadi biodiesel.

2.3. Teknik Kultivasi Mikroalga secara Terbuka (*Open pond*)

Kultivasi alga dapat dilakukan dalam sistem kultivasi terbuka (*open pond*) maupun tertutup dengan sistem fotobioreaktor. Untuk sistem kultivasi terbuka, dilakukan pencahayaan alami pada proses kultivasi sedangkan pada kultivasi tertutup proses pencahayaan dapat dilakukan secara alami menggunakan sinar matahari atau buatan maupun gabungan keduanya. Proses kultivasi yang

diaplikasikan diluar secara umum memiliki karakteristik luas permukaan pencahayaan yang lebih besar dibandingkan fotobioreaktor. Namun sangat sulit memperoleh produktivitas yang sama pada skala besar sebaik skala laboratorium. Masalah yang sering timbul dalam penerapan sistem kultivasi terbuka antara lain yaitu pengontrolan terhadap kondisi kultivasi, terjadi proses evaporasi medium, rendahnya konsentrasi CO₂ yang dapat terdispersi ke dalam medium alga, dan intensitas cahaya matahari yang sampai ke dasar kolam semakin berkurang dengan semakin bertambahnya kedalaman kolam tersebut terutama bila penyinaran hanya dilakukan disatu sisi saja yaitu pada permukaan saja.

Kultivasi mikroalga dalam *open pond* sudah dilakukan beberapa tahun terakhir . *Open pond* dapat dikategorikan ke dalam kolam yang menggunakan air alam seperti danau, tambak atau kolam, sedangkan yang termasuk kolam buatan yaitu kolam atau wadah kultivasi dengan menggunakan dinding dari bahan tertentu seperti PVC seperti gambar 2.



Gambar 3. Kultivasi alga secara *open pond*

Keuntungan menggunakan sistem *open ponds* ini adalah kemudahannya dalam konstruksi dan pengoperasiannya. Selain itu keuntungan yang lain dari sistem ini adalah ini adalah lebih murah dikarenakan hanya menggunakan sinar matahari untuk sistem fotosintesisnya. Sedangkan kendala yang dapat terjadi dalam sistem kultivasi ini yaitu dengan volume kultur yang besar, sinar matahari tidak sepenuhnya dapat diserap oleh mikroalga di dasar kolam, proses kontak langsung dengan udara membuat kehilangan akibat evaporasi relatif besar (*loss evaporation*), sering terjadi efek *selfshading* dalam sel, CO₂ yang terdifusi ke atmosfer, area yang dibutuhkan luas, sering terjadi kontaminasi dari luar, mekanisme pengadukan yang kurang efisien, laju transfer massa kurang baik sehingga produktivitas rendah (Ugwu, 2007).

2.4. Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroalga *Nannochloropsis sp.*

Faktor- faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga antara lain;

1. Medium, medium tempat perkembangbiakan mikroalga harus mengandung unsur- unsur mikro dan makro sebagai pensuplai nutrisi mikroalga. Unsur makro tersebut adalah N, K, Mg, S, P, dan Cl. Sedangkan unsur mikronya adalah Cu, Fe, Zn, Mn, B, Mo. Biasanya unsur- unsur ini berbentuk senyawa lain yang terlarut dalam air.
2. Cahaya, cahaya digunakan mikroalga untuk proses fotosintesis. Sumber cahaya yang dapat digunakan untuk reaktor adalah cahaya alami yang bersumber dari sinar matahari dan cahaya buatan yang bersumber dari lampu TL.

3. Suhu, suhu mempengaruhi besar laju reaksi kimiawi di dalam sel dimana semakin tinggi suhu semakin besar pula laju reaksi, sehingga laju pertumbuhannya juga semakin meningkat. Akan tetapi, jika suhu terlalu tinggi akan terjadi denaturasi protein yang dapat menyebabkan kematian. Suhu optimum untuk pertumbuhan mikroalga berkisar antara 23- 30⁰ C. Suhu juga dapat mempengaruhi kondisi kesetimbangan respirasi dan fotosintesis. Jika suhu meningkat maka respirasi akan meningkat pula sehingga kemampuan untuk berfotosintesis menurun (Pulz, 2001).
4. pH, variasi pH dapat mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan mikroalga antara lain mengubah keseimbangan dari karbon organik, mengubah ketersediaan nutrisi dan mempengaruhi fisiologi sel. Kisaran pH optimum untuk pertumbuhan mikroalga adalah 7-9 (Effendi, 2003).
5. Salinitas
Beberapa mikroalga dapat tumbuh dalam kisaran salinitas tinggi namun ada juga yang dapat tumbuh pada salinitas rendah. Salinitas mikroalga yang berubah- ubah dapat mempengaruhi dan menghambat pertumbuhan mikroalga. Pengaturan salinitas dapat dilakukan dengan pengenceran menggunakan air tawar. Kisaran salinitas yang dimiliki mikroalga berkisar antara 32-36 ppt (Effendi, 2003).
6. Aerasi
Aerasi dalam kultur mikroalga digunakan untuk mensuplai CO₂. Aerasi juga dapat dilakukan dengan kombinasi pengadukan dimana pengadukan sangat penting dilakukan untuk mencegah dari pengendapan sel, mencegah

stratifikasi suhu, untuk memastikan bahwa seluruh sel mendapat suplai nutrisi dan cahaya yang sama dan meningkatkan pertukaran gas dari udara ke medium.

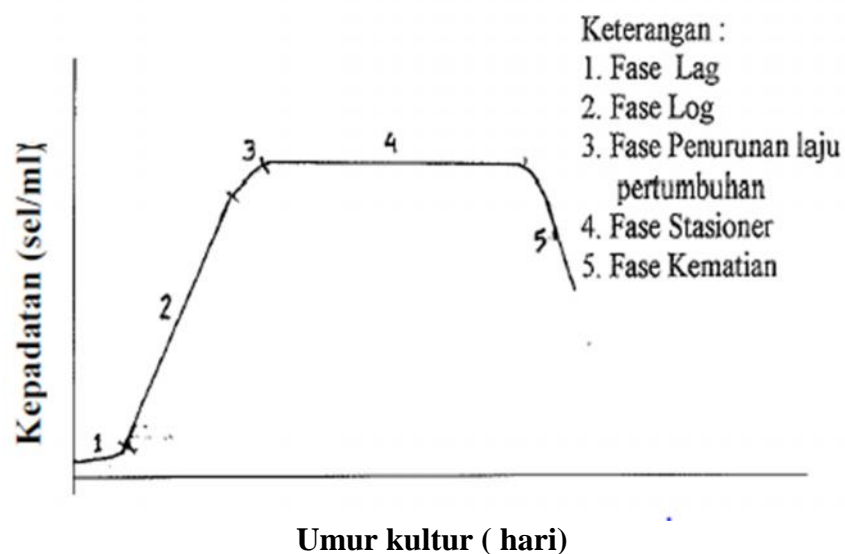
2.5. Fase Pertumbuhan Mikroalga

Pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. dipengaruhi oleh lingkungan seperti suhu, pH, salinitas, juga kandungan nitrogen yang ada di media kultur (Gunawan, 2012).

Perubahan salinitas dan CO₂ pada tahap kedua dapat meningkatkan kepadatan dan mengubah kandungan lipid. *Nannochloropsis* sp. membutuhkan nitrogen sebagai makronutrien untuk pertumbuhannya. Yanuaris dkk. (2012) menyatakan bahwa ketersediaan unsur nitrogen mempengaruhi pertumbuhan *Nannochloropsis* sp.

Pemenuhan sumber hara (N, P, dan K) yang mencukupi kebutuhan dapat mempengaruhi kepadatan *Nannochloropsis* sp.

Kurva pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 4. Kurva pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. (Pujiastuti, 2010).

Coutteau (1996) membagi pola pertumbuhan atau kurva pertumbuhan tersebut menjadi 5 fase pertumbuhan sebagai berikut:

Fase pertumbuhan mikroalga terdiri dari 5 fase yaitu fase lag, fase eksponensial (logaritmik), fase stasioner, dan fase kematian. Berikut merupakan kurva pertumbuhan mikroalga

1. Fase lag (fase tunda)

Setelah pemberian inokulum ke dalam media kultur, terjadi fase lag karena sel memerlukan penyesuaian diri dengan lingkungan yang baru sebelum memulai pembiakkan (pembelahan). Pada fase ini tidak terjadi penambahan sel.

2. Fase log (eksponensial)

Pada fase ini, sel membelah dengan cepat, sel - sel berada dalam keadaan stabil dan jumlah sel bertambah dengan kecepatan konstan. Bahan sel baru terbentuk dengan laju tetap, tetapi bahan-bahan tersebut bersifat katalitik dan massa bertambah secara eksponensial. Hal ini tergantung dari terdapat satu atau dua zat makanan dalam pembenihan habis maka hasil metabolisme beracun akan tertimbun dan menghambat pertumbuhan.

3. Fase penurunan laju pertumbuhan

Terjadi penurunan laju pertumbuhan akibat adanya kompetisi yang tinggi dalam media hidup dan zat makanan yang tersedia dalam media tidak mencukupi kebutuhan populasi yang bertambah cepat pada fase eksponensial. Akibatnya hanya sebagian dari populasi yang mendapatkan cukup nutrisi untuk tumbuh dan membelah diri.

4. Fase stasioner

Jumlah sel pada fase ini cenderung konstan karena habisnya nutrisi dalam medium atau karena menumpuknya hasil metabolisme yang beracun sehingga mengakibatkan pertumbuhannya berhenti. Pada fase ini terjadi kehilangan sel yang lambat karena kematian yang diimbangi oleh pembentukan sel-sel yang baru melalui pembelahan.

5. Fase kematian

Jumlah populasi menurun pada fase ini. Jumlah sel yang mati per satuan waktu perlahan-lahan bertambah dan kecepatan mati dari sel-sel menjadi konstan.

2.6. Teknik Pemanenan Mikroalga

Untuk memperoleh biomassa mikroalga perlu dilakukan proses pemanenan.

Pemanenan merupakan proses untuk memisahkan mikroalga dari medium secara separasi padat- cair. Sentrifugasi, filtrasi, flokulasi merupakan cara yang biasanya dilakukan pada metode separasi. Proses ini memiliki fungsi untuk memisahkan biomassa dengan media yang di kultivasi dalam reaktor sehingga diperoleh biomassa dengan kandungan air yang sedikit dimana jika biomassa akan digunakan sebagai biodiesel maka persentase padatan haruslah 15%. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam memilih metode pemanenan adalah proses pengoperasiannya yang mudah sehingga dimungkinkan metode tersebut dipilih untuk dioperasikan skala besar. Selain itu, kandungan- kandungan mikroalga tidak boleh terpengaruh atau terpengaruh sangat kecil saat proses pemanenan

berlangsung karena kandungan- kandungan inilah yang akan diproses lebih lanjut untuk dijadikan berbagai produk. Hal penting lainnya yaitu *yield* biomassa yang diperoleh haruslah besar. Faktor inilah yang menjadi faktor utama pemilihan teknik pemanenan mikroalga. Semakin banyak biomassa yang diperoleh semakin banyak pula kandungan yang nantinya diproses untuk berbagai produk (Pratama, 2011).

2.6.1. Sentrifugasi

Sentrifugasi merupakan proses pemisahan yang menggunakan gaya sentrifugal sebagai *driving force* untuk memisahkan padatan dan cairan. Proses pemisahan ini didasarkan pada ukuran partikel dan perbedaan densitas dari komponen yang akan dipisahkan. Hampir semua tipe mikroalga dapat dipanen menggunakan metode ini. Namun menurut Brennan (2009) metode ini hanya cocok untuk mikroalga dengan ukuran lebih besar dari 70 μm . Penelitian Chen, dkk. (2011) menunjukkan bahwa proses sentrifugasi dengan kecepatan tinggi secara efektif dapat memisahkan mikroalga dari cairan medianya. Tes laboratorium pada 8333-16666 rpm hasil kultivasi mikroalga dalam pond menunjukkan 80- 90% mikroalga dapat dipisahkan dalam waktu 2- 5 menit. Sim (1988) juga menggunakan metode ini dengan menghasilkan efisiensi sebesar 90%. Lalu penelitian yang dilakukan oleh Heasman (2000) dengan kecepatan rotasi *sentrifuse* antara 21666- 216667 rpm menghasilkan efisiensi lebih dari 95% dengan kecepatan 216667 rpm dan kemudian menurun menjadi 60% pada 100000 rpm menurun lagi menjadi 40% pada 21666 rpm. Selain itu, waktu pemisahan yang singkat tersebut didapat dengan energi yang cukup besar. Energi yang

dibutuhkan untuk proses separasi ini adalah 8 kWh/m^3 kultur mikroalga (Uduman, 2010).

2.6.2. Flokulasi

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. Sel mikroalga umumnya berukuran $5-50 \mu\text{m}$. Sel mikroalga dapat membentuk suspensi cukup stabil dengan bahan kimia yang memiliki muatan negatif pada permukaannya. Pemanenan sel mikroalga dengan flokulasi dianggap lebih baik daripada metode konvensional seperti sentrifugasi atau filtrasi karena dapat menghasilkan biomassa yang lebih baik secara kuantitas. Metode ini juga mudah untuk dilakukan dengan energi yang sedikit. Namun, kelemahan metode ini adalah secara teknis dan ekonomi seperti biaya flokulan yang mahal, beberapa flokulan beracun, dan proses *scale up* yang sulit.

Terdapat dua tipe flokulan yang digunakan yaitu: flokulan inorganik dan flokulan polimer organik atau polielektrolit. Beberapa jenis flokulan dengan dosis dan pH optimum yang dibutuhkan untuk proses flokulasi mikroalga dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Beberapa jenis flokulan dengan dosis dan pH optimum dalam proses flokulasi alga

Flokulan	Dosis optimal (mg/L)	pH optimal
Inorganik		
• Alum	80-250	5, 3-5, 6
• Feri Sulfat	70-90	3, 0-9, 0
• Kapur	500-700	10, 5-11, 5
Polimerik		
• Purifloc	35	3, 5
• Zetag 51	10	>9
• Dow 21M	10	4, 0—7, 0
• Dow C-31	1-5	2, 0-4, 0
• Khitosan	100	8, 4

Sumber: Shelef *et al.*, 1984

Pada penelitian Aji, dkk. (2012) Pemanenan mikroalga menggunakan kitosan 15 mg/L menghasilkan efisiensi flokulasi yang tinggi sebesar 99,5% dengan waktu pengendapan 2 jam. Namun penggunaan kitosan sebagai flokulan polimer organik dalam pemanenan memerlukan biaya yang tinggi dan kurang ekonomis untuk pemanenan mikroalga. Selain itu pemanenan mikroalga dapat dilakukan menggunakan teknik bioflokulasi menggunakan makhluk hidup lain seperti bakteri atau fungi sebagai agen pengendap. Penelitian yang dilakukan oleh Badriyah (2010) pada *Spirulina sp.* dan *Botryococcus braunii*. mengamati bahwa proses teknik bioflokulasi pada kedua spesies ini tidak efektif karena tidak terjadi proses flokulasi dan perlu dicari kembali jenis mikroalga yang cocok dalam teknik bioflokulasi ini agar proses flokulasi terjadi yang akan membutuhkan biaya serta waktu yang lebih lama untuk mencari mikroalga yang cocok. Selain itu

bioflokulasi juga membutuhkan biaya tambahan berupa substrat untuk hidup dan kemungkinan adanya kontaminasi akibat penggunaan bakteri sebagai agen pengendap (Salim *et al.*, 2011).

Flokulan yang dinilai paling efektif digunakan untuk proses pemanenan mikroalga adalah aluminium sulfat serta beberapa jenis polimer kationik. Aluminium sulfat atau alum merupakan salah satu bahan kimia yang sangat diperlukan baik dalam industri pengolahan air. Alum berbentuk kristal putih, bersifat larut dalam air dan tidak dapat larut dalam alkohol (Faith and Keyes, 1957). Penelitian yang dilakukan oleh Oh *et al.* (2001) pada pemanenan mikroalga menggunakan aluminium sulfat menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi yaitu sebesar $\pm 72\%$. Ferriols (2013) juga melakukan pemanenan secara flokulasi pada mikroalga *Tetraselmis tetrahele* menggunakan $(Al_2SO_4)_3$ pada dosis 150 mg/L dengan waktu pengendapan 1 jam menghasilkan efisiensi flokulasi 96%, sedangkan penelitian Udoma (2012) pada dosis alum 140 mg/L dapat merecovery padatan alga 91%. Aluminium sulfat juga dipilih karena merupakan bahan koagulan yang ekonomis, mudah diperoleh di pasaran serta mudah penyimpanannya.

2.6.3. Filtrasi

Metode pemisahan ini melibatkan media yang permeabel untuk melewatkan cairan sekaligus menahan padatan sehingga kedua komponen ini terpisah. Filtrasi merupakan salah satu metode pemanenan dimana medium dan mikrolaga dilewatkan melalui filter sehingga mikrolaga tersaring dalam filter dan menghasilkan pasta alga (Danquah, 2009). Filter yang telah terisi mikroalga inilah yang kemudian dipisahkan dan diambil biomasanya. Filter yang dapat

digunakan terbuat dari bahan *sponge*, kanvas, keramik, nilon, dakron, logam, atau *fiberglass*. Dalam proses filtrasi terdapat dua bentuk dasar yaitu filtrasi permukaan dan filtrasi kedalaman. Pada filtrasi permukaan menghasilkan *cake* pada permukaan filter sedangkan filtrasi kedalaman didalam media filter.

Filtrasi juga dapat dibedakan atas dua macam menurut jenis alirannya, yaitu filtrasi kontinu dan filtrasi semi kontinu. Pada filtrasi kontinu proses filtrasi berlangsung secara terus-menerus dan ketika media filter telah penuh dengan mikroalga maka langsung penggantian filter. Sedangkan filtrasi semi kontinu hanya berlangsung beberapa saat. Lalu terdapat beberapa jenis filtrasi yaitu *dead end filtration*, *tangential flow filtration* (TFF), mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, filtrasi bertekanan, dan filtrasi vakum (Harun, 2009). Pada filtrasi konvensional proses filtrasi hanya mampu menangkap mikroalga dengan ukuran $>70 \mu\text{m}$ (Brennan, 2009) dan untuk mikroalga yang memiliki ukuran $30 \mu\text{m}$ harus menggunakan filtrasi membran atau ultrafiltrasi (Petrusevski, 1995). Menurut penelitian yang dilakukan Grima dkk. (2003), proses filtrasi yang paling efektif diaplikasikan untuk proses pemanenan mikroalga dengan ukuran sel yang besar adalah filtrasi bertekanan atau filtrasi vakum. Namun proses filtrasi tidak cocok untuk operasi pemanenan mikroalga yang memiliki ukuran sel yang kecil seperti spesies *Dunaliella*.

Menurut Uduman (2010) kebutuhan energi untuk proses filtrasi kecil, pada filtrasi alami hanya sebesar $0,4 \text{ kWh/m}^3$ sedangkan untuk filtrasi bertekanan sebesar $0,88 \text{ kWh/m}^3$, juga biaya operasional untuk metode ini relatif kecil dan mudah digunakan. Namun kelemahan metode ini adalah dimana harus dilakukan

pemilihan media filter yang tepat dengan mempertimbangkan jenis mikroalga yang akan dipanen, karena tiap mikroalga memiliki ukuran dan morfologi yang berbeda-beda. Kemudian, bahan dari media filter itu sendiri juga harus diperhatikan dengan mempertimbangkan kemudahan untuk pemisahan mikroalga dari filter. Selain itu, hal yang perlu dipertimbangkan adalah volume reaktor yang digunakan, semakin besar volumenya maka jumlah dan ukuran filter juga akan semakin bertambah dengan posisi filter yang juga perlu diperhatikan (Pratama, 2011).

Beberapa penelitian menggunakan metode ini antara lain penelitian yang dilakukan Syarif (2008) menggunakan filtrasi tipe kontinu terhadap mikroalga *C. vulgaris* dengan sponge sebagai bahan dari media filternya menunjukkan bahwa filtrasi ini menghasilkan lebih dari 10 juta sel/L. Pada pemanenan secara ultrafiltrasi terhadap *Nannochloropsis* yang dilakukan oleh Neng dan Resat (2009) menghasilkan alga terkonsentrasi sebesar $5,1 \times 10^8$ sel/mL. Sedangkan pada penelitian Pratama (2011) menggunakan metode semi kontinu proses filtrasi menghasilkan biomassa *C. vulgaris* sebesar 1,62885 g/L.