

**POTENSI MIKROALGA YANG DIKULTIVASI PADA MEDIA LIMBAH
CAIR INDUSTRI KARET REMAH DENGAN SISTEM *OPEN POND*
SEBAGAI SUMBER PROTEIN**

(Skripsi)

Oleh

SITI ZUHROTUL MUNAWAROH



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRACT

POTENTIAL OF MICROALGAE THAT ARE CULTIVATED ON THE WASTEWATER OF CRUMB RUBBER INDUSTRIAL MEDIA WITH OPEN POND SYSTEM AS A SOURCE OF PROTEIN

By

SITI ZUHROTUL MUNAWAROH

Microalgae is one of aquatic biological agents that grows in alternative growth condition with strong adaptability. Crumb rubber wastewater which contains of high organic matter and nutrients can be used as a media for the growth of microalgae without the addition of nutrients. The purpose of this study was to get the kind of microalgae which were cultivated on the crumb rubber wastewater media with the highest potential to produce biomass and protein level and to decrease organic matter. The microalgae (*Spirulina* sp., *Dunaliella* sp. and *Tetraselmis* sp.) that had been adapted as many as 25% was cultured in crumb rubber wastewater media with open pond system reactor with 5L of working volume for 7 days, after that the harvesting method was flocculated by NaOH. The observations that were conducted are daily observation of cell density and salinity cultivation, biomass, protein content, N-NH₃, P-PO₄, *Dissolved Oxygen* and pH. This results indicated that *Spirulina* sp. with 3878 x 10⁴ cells / mL of

highest cell density, was able to produce the highest biomass of 1.7282 g/L and protein content of 12.13%, and it was able to reduce organic matter 94% of N-NH₃, 71% of P-PO₄ and 22% of COD.

Key words: *Spirulina* sp., *Dunaliella* sp., *Tetraselmis* sp., Wastewater, Protein

ABSTRAK

POTENSI MIKROALGA YANG DIKULTIVASI PADA MEDIA LIMBAH CAIR INDUSTRI KARET REMAH DENGAN SISTEM *OPEN POND* SEBAGAI SUMBER PROTEIN

Oleh

SITI ZUHROTUL MUNAWAROH

Mikroalga merupakan salah satu agen biologi akuatik yang dapat tumbuh dalam kondisi pertumbuhan alternatif dengan kondisi daya adaptasi yang kuat. Limbah cair karet yang mengandung bahan organik dan nutrisi yang tinggi dapat digunakan sebagai media pertumbuhan mikroalga tanpa penambahan nutrisi. Tujuan dari penelitian ini mendapatkan jenis mikroalga yang dikultivasi pada media limbah cair karet yang paling berpotensi dalam menghasilkan biomassa dan kadar protein serta menurunkan cemaran. Kultur mikroalga (*Spirulina* sp., *Dunaliella* sp. dan *Tetraselmis* sp.) yang telah diadaptasikan sebanyak 25% dibiakan dalam media limbah cair karet remah dengan reaktor sistem *open pond* volume kerja 5L selama 7 hari, kemudian dipanen dengan metode flokulasi menggunakan NaOH. Pengamatan yang dilakukan yaitu kepadatan sel dan salinitas pada setiap hari selama kultivasi, biomassa, kadar protein, N-NH₃, P-PO₄, *Dissolved Oxygen* dan pH. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *Spirulina* sp.

dengan kepadatan sel tertinggi mencapai 3878×10^4 sel/mL, mampu menghasilkan biomassa tertinggi yaitu sebesar 1,7282 g/L, kadar protein sebesar 12,13%, dan mampu menurunkan beban cemaran N-NH₃ sebesar 94%, P-PO₄ sebesar 71%, serta mereduksi COD sebesar 22%.

Kata Kunci: *Spirulina* sp., *Dunaliella* sp., *Tetraselmis* sp., Limbah Cair, Protein

**POTENSI MIKROALGA YANG DIKULTIVASI PADA MEDIA LIMBAH
CAIR INDUSTRI KARET REMAH DENGAN SISTEM *OPEN POND*
SEBAGAI SUMBER PROTEIN**

Oleh

Siti Zuhrotul Munawaroh

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

Pada

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016

Judul Skripsi

**: POTENSI MIKROALGA YANG
DIKULTIVASI PADA MEDIA LIMBAH
CAIR INDUSTRI KARET REMAH
DENGAN SISTEM *OPEN POND*
SEBAGAI SUMBER PROTEIN**

Nama Mahasiswa

: Siti Zuhrotul Munawaroh

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1214051067

Jurusan

: Teknologi Hasil Pertanian

Fakultas

: Pertanian

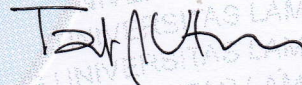
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Ir. Otik Nawansih, M.P.

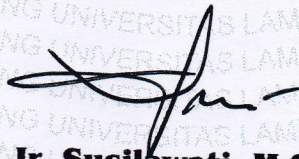
NIP 19650503 199010 2 001



Dr. Ir. Tanto P. Utomo, M.Si.

NIP 19680807 199303 1 002

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian



Ir. Susilawati, M.Si.

NIP 19610806 198702 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

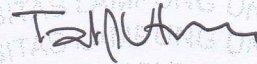
Ketua

: Ir. Otik Nawansih, M.P.



Sekretaris

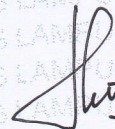
: Dr. Ir. Tanto P. Utomo, M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P.

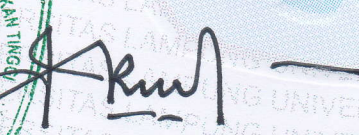


2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.

NIP 19611020 198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 September 2016

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Siti Zuhrotul Munawaroh NPM 1214051067

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 15 Oktober 2016
Yang membuat pernyataan



NPM. 1214051067

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Desa Raman Endra, Kecamatan Raman Utara, Kabupaten Lampung Timur pada tanggal 29 Oktober 1994, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, buah hati dari pasangan Bapak M. Imam Maliki dan Ibu Suyanti.

Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-Kanak Gula Putih Mataram 1999-2000; Sekolah Dasar Swasta 02 Gula Putih Mataram pada tahun 2000-2006; Sekolah Menengah Pertama Gula Putih Mataram pada tahun 2006-2009; Sekolah Menengah Atas Sugar Group pada tahun 2009-2012. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2012 melalui jalur Tes Tertulis Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Dente Makmur Kecamatan Dente Teladas Kabupaten Tulang Bawang pada bulan Januari sampai Maret 2015 dan melaksanakan kegiatan Praktik Umum (PU) pada bulan Juli sampai Agustus 2015 di PT. Perkebunan Nusantara VII Distrik Bungamayang Kabupaten Lampung Utara dengan judul “Mempelajari Penerapan *Cleaner Production* (Produksi Bersih) pada Industri Gula Kristal Putih Di PTPN VII Distrik Bungamayang”.

Penulis bergabung dalam Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian tahun 2012/2013 dan menjadi Anggota Pengurus Bidang Dana dan Usaha pada Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian tahun periode kepengurusan tahun 2013/2014. Pada tahun 2014 penulis lolos seleksi nasional usulan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) bidang penelitian dengan judul “Optimasi Pembuatan *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC) Sebagai Bahan Penstabil Emulsi Berbasis Selulosa Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit”. Penulis pernah menjadi Asisten Dosen mata kuliah Kimia Dasar I pada periode tahun ajaran 2014/2015, Asisten Dosen mata kuliah Teknologi Pati dan Gula pada periode tahun ajaran 2015/2016.

SANWACANA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Potensi Mikroalga Yang Dikultivasi pada Media Limbah Cair Industri Karet Remah dengan Sistem *Open Pond* Sebagai Sumber Protein”. Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari keterlibatan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Susilawati, M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
3. Ibu Ir. Otik Nawansih, M.P. selaku Pembimbing Utama atas segala pengarahan, nasihat, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si. selaku Pembimbing Kedua atas segala bantuan, pengarahan, nasihat, dan saran selama penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P. selaku Penguji Utama atas segala masukan dan saran selama penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Balai Besar Perikanan Budidaya Laut (BBPBL) Lampung yang telah memberikan tempat penelitian dan bibit mikroalga.

8. PTPN VII Way Berulu yang telah memberikan limbah cair karet remah.
9. Ibu Valen dan Ibu Anis yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama penelitian di BBPBL.
10. Kedua orang tuaku Bapak M. Imam Maliki dan Ibu Suyanti dan adik-adikku S. Nur Azizah dan S. Qurotul A'yun Ramadhani yang selalu mendukung, menyayangi, dan selalu memberikan yang terbaik untuk keberhasilanku.
11. Sahabatku Kiky, Aini, Selfi, Reza, Yuli, Rizki, Rani, Ivan, Gita, Wuri, Devi, Dian atas segala bantuan fisik dan dukungan mental selama penyusunan skripsi ini.
12. Rekan- rekan Penelitian di BBPBL dari STP Jakarta (Kak Hanna, Kak Ima, Ayu, Kiki, dan Dicky), Polinela (Endah, Mimah, Fajri, Rere dan Bangsa), IPB (Apri, Hikma, Aska, Dian dan Fitri), Universitas PGRI Palembang (Abang Zainal, Iqbal dan Reken), adik-adik SUPM Ladong Aceh dan SMK Rawajitu atas segala bantuan fisik dan dukungan mental selama penelitian.
13. Senioraku mbak Reni dan mbak Anggun atas segala bantuan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
14. Keluarga besar Pahlawan Luar Biasa angkatan 2012 dan Keluarga besar THP FP Unila atas segala ilmu, kebersamaan, dan pengalaman yang luar biasa.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk kita semua.

Bandar Lampung, 3 Oktober 2016

Penulis

Siti Zuhrotul Munawaroh

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
I. PENDAHULUAN	
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Tujuan Penelitian	2
1.3.Kerangka Pemikiran	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1.Limbah Cair Karet	6
2.2. Mikroalga	13
2.3. <i>Spirulina</i> sp.....	20
2.4. <i>Dunaliella</i> sp.....	23
2.5. <i>Tetraselmis</i> sp.	24
2.6. Kultivasi dan Teknik Pemanenan Mikroalga	26
2.7. Manfaat Mikroalga Sebagai Sumber Protein.....	29
III. BAHAN DAN METODE	
3.1. Waktu dan tempat Penelitian.....	31
3.2. Alat dan Bahan	31
3.3. Metode Penelitian	32

3.4. Pelaksanaan Penelitian.....	33
3.4.1. Persiapan Media dan Pemiakan Kultur Murni.....	33
3.4.2. Kultivasi dan Pemanenan Mikroalga.....	34
3.5. Pengamatan.....	35
3.5.1. Kepadatan Sel	35
3.5.2. Salinitas.....	35
3.5.3. Nitrogen Amonia (N-NH ₃)	36
3.5.4. Ortophospat (P-PO ₄).....	36
3.5.5. Derajat Keasaman (pH)	37
3.5.6. <i>Dissolved Oxygen</i> (DO).....	37
3.5.7. Biomassa.....	37
3.5.8. Kadar Protein	38

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Potensi Mikroalga dalam Menghasilkan Biomassa dan Kadar Protein.....	40
4.1.1. Kepadatan Sel	40
4.1.2. Biomassa	43
4.1.3. Kadar Protein	44
4.1.4. Salinitas.....	47
4.2. Potensi Mikroalga dalam Menurunkan Beban Cemar Limbah Cair Karet Remah (N-NH ₃ dan P-PO ₄).	49
4.2.1. Nitrogen Amonia (N-NH ₃)	49
4.2.2. Ortophospat (P-PO ₄).....	50
4.2.3. <i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	51
4.2.4. Derajat Keasaman (pH).....	54

V. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan.....	56
5.2. Saran	56

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Parameter dan baku mutu serta analisis efluen air limbah PTPN VII Unit Way Berulu	10
2. Kandungan protein dan karbohidrat dari beberapa spesies mikroalga dalam % berat kering	20
3. Komposisi Kimia <i>Dunaliella</i> sp.....	24
4. Jenis mikroalga yang berpotensi untuk pangan	30
5. Syarat Mutu Mikroalga sebagai Bahan Baku Industri	47
6. Kepadatan sel mikroalga selama 7 hari kultivasi.....	65
7. Salinitas media kultur	65
8. Data perolehan biomassa mikroalga	66
9. Data Kualitas Air (Derajat Keasaman, <i>Dissolved Oxygen</i> (DO), Nitrogen Amonia (N-NH ₃) dan Ortophospat (P-PO ₄)).....	67
10. Kadar Protein	68
11. Standar deviasi biomassa	68
12. Standar deviasi Nitrogen Amoniak (N-NH ₃)	69
13. Standar deviasi Ortophospat	69
14. Standar deviasi Derajar Keasaman (pH).....	70
15. Standar deviasi <i>Dissolved Oxygen</i>	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Neraca proses pengolahan karet remah berbahan baku lateks	9
2. Alur Proses IPAL PTPN VII Unit Usaha Way Berulu	10
3. Mekanisme simbiosis mikroalga dan bakteri	14
4. <i>Spirulina</i> sp.	21
5. <i>Dunaliella</i> sp.	23
6. <i>Tetraselmis</i> sp. dan Morfologi sel <i>Tetraselmis</i> sp.	25
7. Diagram alir perolehan biomassa.....	33
8. Kepadatan sel mikroalga <i>Spirulina</i> sp., <i>Dunaliella</i> sp. dan <i>Tetraselmis</i> sp. selama 7 hari kultivasi	40
9. Kepadatan sel mikroalga <i>Tetraselmis</i> sp. yang dikultivasi selama 7 hari	41
10. Biomassa pada berbagai jenis perlakuan	43
11. Kadar Protein pada Mikroalga	45
12. Grafik peningkatan salinitas kultur mikroalga pada media limbah cair karet remah.....	47
13. Grafik Penurunan kadar N-NH ₃ pada Limbah Cair Karet Remah.....	49
14. Grafik penurunan kadar P-PO ₄ pada Limbah Cair Karet Remah.....	51
15. Grafik peningkatan kadar <i>Dissolved Oxygen</i> pada media limbah cair karet remah.....	52
16. Mekanisme simbiosis mikroalga dan bakteri.....	53
17. Grafik peningkatan pH pada limbah cair karet remah	54

18. Grafik standar deviasi biomassa	68
19. Grafik standar deviasi Nitrogen Amoniak	69
20. Grafik standar deviasi Ortophospat	70
21. Grafik standar deviasi Derajat Keasaman (pH)	70
22. Grafik standar deviasi <i>Dissolved Oxygen</i>	71
23. Persiapan limbah cair karet untuk media kultivasi	71
24. Pembiakan Kultur Murni	72
25. Pengadaptasian kultur 24% LCKR dan 50% LCKR	72
26. Kultivasi pada media limbah cair karet selama 7 hari	72
27. Pemanenan Mikroalga	73
28. Pengamatan kepadatan sel dan salinitas.....	73
29. Pengukuran pH dan <i>Dissolved Oxygen</i>	73
30. Persiapan analisis N-NH ₃ dan P-PO ₄	74
31. Analisis N-NH ₃ dan P-PO ₄	74
32. Yeild basah dan penyimpanan biomassa setelah dioven	74
33. Analisis kadar protein	75

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Mikroalga merupakan organisme autotrof yang menggunakan cahaya matahari, karbon dioksida, dan bahan – bahan organik seperti nitrogen dan Phospat untuk tumbuh dan menghasilkan biomassa berupa CH_2O . Mikroalga memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia, hal ini disebabkan kandungan nilai gizi yang tinggi yang terdapat pada mikroalga. Biomassa mikroalga kaya nutrien antara lain asam lemak omega 3 dan 6, asam amino esensial (leusin, isoleusin, valin, dan lain-lain), dan karoten. Beberapa jenis mikroalga juga memiliki kandungan protein yang tinggi diantaranya *Scenedesmus obliquus*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Spirulina plantesis*, *Spirulina maxima*, *Dunaliella salina* dan *Tetraselmis sp.* Asam amino pada mikroalga lebih baik jika dibandingkan dengan sumber protein makanan yang lain (Hasanah, 2011).

Mikroalga merupakan salah satu agen biologi akuatik yang dapat tumbuh dalam kondisi pertumbuhan alternatif dengan kondisi daya adaptasi yang kuat. Beberapa hasil penelitian menyatakan bahwa mikroalga mampu dikultivasi pada limbah cair. Mikroalga yang dapat tumbuh pada limbah cair karet selain menghasilkan hasil samping berupa biomassa juga memiliki peran yang penting dalam proses dekomposisi limbah cair karet sehingga dapat menurunkan beban cemaran.

Industri karet remah yang mengolah lateks menjadi karet olahan seperti *crumb rubber* menghasilkan limbah cair hasil produksi yang mengandung ammonia, BOD₅, COD, Nitrat, Phospat serta total padatan dalam konsentrasi tinggi. Hal tersebut dikarenakan pada limbah cair karet masih mengandung bahan organik yang berasal dari serum dan partikel karet yang belum terkoagulasi (Utomo *et al*, 2012). Limbah cair karet yang mengandung bahan organik dan nutrien yang tinggi tersebut berpotensi dapat digunakan sebagai media pertumbuhan mikroalga, sekaligus sebagai alternatif pengganti air laut atau air tawar sebagai media tumbuh mikroalga tanpa penambahan nutrisi.

Berdasarkan uraian diatas, kemampuan beberapa jenis mikroalga dalam beradaptasi di limbah cair karet perlu dikaji potensinya dalam hal menghasilkan biomassa yang kaya protein dan menurunkan beban cemaran

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan jenis mikroalga yang dikultivasi pada media limbah cair karet yang paling berpotensi dalam menghasilkan biomassa dan kadar protein.
2. Mendapatkan jenis mikroalga yang paling berpotensi dalam mereduksi cemaran pada limbah cair industri karet remah.

1.3. Kerangka Pemikiran

Limbah cair industri karet remah yang mengolah lateks menjadi karet olahan seperti *crumb rubber* menghasilkan limbah cair hasil produksi yang mengandung

ammonia, BOD₅, COD, Nitrat, Phospat serta total padatan dalam konsentrasi tinggi. Hal tersebut dikarenakan pada limbah cair karet masih mengandung bahan organik yang berasal dari serum dan partikel karet yang belum terkoagulasi (Utomo *et al*, 2012). Limbah cair karet yang mengandung bahan organik dan nutrien yang tinggi tersebut berpotensi dapat digunakan sebagai media pertumbuhan mikroalga, sekaligus sebagai alternatif pengganti air laut atau air tawar sebagai media tumbuh mikroalga tanpa penambahan nutrisi.

Mikroalga yang tumbuh pada limbah cair karet memiliki peran penting dalam proses dekomposisi limbah cair karet. Mikroalga tidak mendegradasi bahan organik namun adanya simbiosis mutualisme antara mikroalga dan bakteri aerob dapat menurunkan kandungan nitrogen, Phospat, BOD dan COD pada limbah. Mikroalga menggunakan cahaya matahari, karbon dioksida (CO₂), dan bahan organik seperti nitrogen dan Phospat untuk fotosintesis. Oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis mikroalga dimanfaatkan oleh bakteri aerob untuk mengoksidasi senyawa organik pada limbah cair karet (Wulan, 2015).

Hasil penelitian Zulfarina *et al.* (2013) dan Sriharti (2004) menunjukkan *Chlorella pyrenoidosa* dan *Chlorella* sp. dapat menurunkan kadar pencemar (COD) 52,6-96,7 % pada limbah cair karet setelah dikultivasi selama 15 hari. Perlakuan dengan menggunakan media limbah cair dari *outlet* kolam Fakultatif II dapat meningkatkan kepadatan sel *Nannochloropsis* sp. mencapai $3,3 \times 10^7$ sel/mL dan dapat menurunkan kandungan bahan organik limbah cair karet remah berupa N-NH₃ mencapai 98%, P-PO₄ 89%, N-total 92%, serta perolehan yield kering sebesar 0,87 g/L (Komalasari, 2015).

Mikroalga juga memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia, salah satunya dalam bidang kesehatan. Hal ini disebabkan kandungan nilai gizi yang tinggi yang terdapat pada mikroalga. Mikroalga dapat menambah nilai gizi pada makanan dan mempunyai pengaruh yang positif terhadap kesehatan manusia. Biomassa mikroalga kaya nutrisi antara lain asam lemak omega 3 dan 6, asam amino esensial (leusin, isoleusin, valin, dan lain-lain), dan karoten. Beberapa jenis mikroalga juga memiliki kandungan protein yang tinggi diantaranya *Scenedesmus obliquus*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Spirulina plantesis*, *Spirulina maxima*, *Dunaliella salina* dan *Tetraselmis sp.* Asam amino pada mikroalga lebih baik jika dibandingkan dengan sumber protein makanan yang lain (Hasanah, 2011).

Spirulina sp. merupakan salah satu jenis mikroalga yang dapat dikultivasi pada media POME (Hadiyanto dan Marcelinus, 2012). Hasil dari beberapa penelitian, menunjukkan bahwa *Spirulina sp.* merupakan salah satu spesies mikroalga yang berpotensi untuk dikembangkan. Hal ini disebabkan karena *Spirulina sp.* mengandung komposisi senyawa kimia dengan nilai gizi dan ekonomi tinggi, seperti mengandung protein, peptida, asam lemak esensial, vitamin, mineral, fikobiliprotein dan eksopolisakarida (Vonshak, 2002; Richmond and Emeritus, 2013). *Spirulina sp.* mengandung protein 60–71%, lemak 8%, karbohidrat 16%, dan vitamin serta 1,6% *Chlorophyll-a*, 18% *Phycocyanin*, 17% β -*Carotene*, dan 20 – 30 % γ -linoleic acid dari total asam lemak (Jongkon P. *et al*, 2008 dalam Rahman, Miftahur dan A. Setiawan, 2014).

Hasil penelitian Darsi *et al* (2012) *Dunaliella sp.* dapat tumbuh dengan baik dengan memanfaatkan nutrisi yang berasal dari limbah cair tahu yang menjadi

media tumbuhnya. Kandungan protein pada *Dunaliella* sp. tinggi yaitu 47,43% (Tjahjo *et al*, 2002). *Tetraselmis* sp. memiliki kemampuan mereduksi bahan organik cukup tinggi. Berdasarkan penelitian Wulan (2015) *Tetraselmis* sp. yang dikultivasi pada limbah cair karet mampu menurunkan kadar COD hingga 29%, menurunkan kadar PO_4 hingga 86% dan $N-NH_3$ hingga 99,4%. Kandungan gizi yang dimiliki *Tetraselmis* sp. adalah protein 49,75 %, lemak 0,910 % dari berat kering (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Cair Karet

Industri pengolahan karet alam merupakan industri yang mengolah lateks (getah) karet menjadi karet setengah jadi, bentuk karet tersebut dapat berupa sit, krep dan karet remah. Dalam pengolahan, industri tersebut menggunakan bahan-bahan kimia sebagai bahan koagulan lateks dan air dalam jumlah yang cukup besar untuk pencucian tangki-tangki tempat lateks serta untuk proses penggilingan. Proses tersebut menghasilkan limbah dalam bentuk cair atau biasa disebut limbah cair. Limbah cair pabrik karet mengandung komponen karet (protein, lipid, karotenoid, dan garam anorganik), lateks yang tidak terkoagulasi dan bahan kimia yang ditambahkan selama pengolahan (Suwardin, 1989).

2.1.1. Lateks

Lateks merupakan suatu larutan koloid dengan partikel karet dan bukan karet yang tersuspensi dalam suatu media yang mengandung beberapa macam zat. Lateks mengandung 25-40% bahan mentah dan 60-70% serum yang terdiri dari air dan zat terlarut. Bahan mentah mengandung 90-95% karet murni, 2-3% protein, 1-2% asam lemak, 0,5% Na, Mg, K, P, Ca, Cu, Mn dan Fe. Serum merupakan komponen utama lateks kebun selain fraksi karet, partikel *Frey – Wyssling* dan lutoid. Serum lateks terdiri atas air, karbohidrat dan inisitol, protein

dan senyawa nitrogen, asam nukleotida dan nukleosida, ion anorganik dan ion logam.

Lateks yang keluar dari pohon karet yang disadap selanjutnya ditampung dalam mangkuk yang sebelumnya sudah dibersihkan dan dikeringkan terlebih dahulu sehingga dapat dihindari kemungkinan terjadinya prakoagulasi. Pada proses pengumpulan lateks juga dihindari pengaruh suhu yang tinggi dan waktu pengumpulan tidak melebihi 3-4 jam untuk menghindari prakoagulasi. Untuk mencegah prakoagulasi, kadang kadang ditambahkan zat antikoagulan. Zat antikoagulan yang umum dipakai adalah ammonia, soda dan natrium sulfit. Penggunaan zat antikoagulan diawasi dengan ketat. Pembubuhan zat anti koagulan hanya dilakukan jika lateks menunjukkan kecenderungan terjadi proses koagulasi. Zat antikoagulan juga dapat digunakan pada saat pengangkutan dari kebun dan mangkuk – mangkuk sadap (Utomo *et al*, 2012).

2.1.2. Proses Pengolahan Lateks Menjadi *Crumb Rubber*

Proses pengolahan *crumb rubber* berbahan baku lateks kebun meliputi pengolahan basah dan kering. Jenis mutu SIR yang dihasilkan dari bahan baku lateks adalah SIR 3 CV (*Constant Viscosity*), SIR 3 L (*Light*) dan SIR 3 WF (*Whole Field*). Perbedaan pengolahan SIR 3 terletak pada bahan yang digunakan sebelum penggumpalan. Pada pembuatan SIR 3 CV digunakan Hidroksilamin neural sulfat 5-10% dan amonia sebanyak 0,3% dengan dosis 0,10-0,15 % (b/b), pada pembuatan SIR 3 L digunakan Natrium metabisulfit 5-10% atau asam borat 10% dengan dosis 0.03-0,05% (b/b) dan pada pembuatan SIR 3 WF tidak ada penambahan bahan kimia sebelum dilakukan koagulasi. Jenis SIR 3 yang diproduksi PTPN VII Unit Usaha Way Berulu adalah SIR 3 L dan SIR 3 WF.

a.) Proses pengolahan secara basah

Penyaringan dan pengenceran

Lateks kebun dimasukkan ke dalam *bulking tank* disaring menggunakan saringan 20 mesh untuk memisahkan kotoran atau benda asing lainnya. Lateks dalam *bulking tank* diencerkan dengan penambahan air 18-20% dan diaduk selama 15 menit dengan *stirer*. Hal ini bertujuan untuk menghomogenisasikan lateks dan menguapkan amonia.

Penggumpalan

Volume lateks pada tiap *coagulating through* sekitar 3500 – 4000 liter, ditambahkan asam semut 1% dan disemprotkan SMB 5%. Proses penggumpalan lateks menjadi koagulum sekitar 3,5 – 4 jam atau sampai diperoleh hasil pembekuan yang sempurna.

b.) Proses pengolahan secara kering

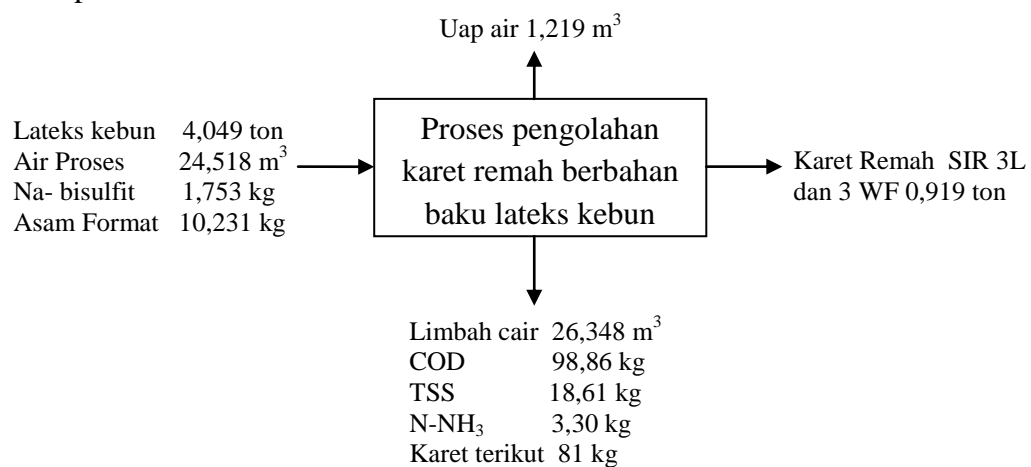
Penggilingan

Koagulum lateks yang berada pada *coagulating through* dialirkan air sampai koagulum mengapung. Hal ini bertujuan untuk mempermudah penggilingan koagulum di *mobile crusher*. Alat ini bertujuan untuk membuang kandungan air dan asam semut yang terkandung didalamnya serta memipihkan koagulum dari ketebalan 40-50 cm menjadi crepe dengan ketebalan 5 cm. Setelah itu gilingannya diumpankan ke *creeper* 1 dan 2 bertujuan agar memperoleh crepe dengan ketebalan 0,6 – 0,7 cm. Kemudian crepe diremahkan dalam *hammer mill* yang dilengkapi *creeper* atasnya. *Hammer mill* berfungsi untuk mencacah atau mencabik lembaran crepe menjadi remahan karet kecil agar mudah dikeringkan pada proses selanjutnya. Hasil remahan *hammer mil* masuk ke dalam *vortex pump*

dan dialirkan sampai ke bagian atas *static screen*, dimana sebagian besar air yang terbawa tersirkulasikan kembali ke *hammer mill*, sedangkan karet remah turun bersamaan dengan sebagian air yang tersisa menuju *box dryer*.

Pengeringan, pengempaan dan pengemasan

Selanjutnya *box dryer* dimasukkan ke dalam *dryer* yang berjumlah 14 box dengan suhu $118^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}$ dan interval waktu keluarnya tiap box adalah 15 menit. *Dryer* berfungsi untuk mengeringkan remahan karet sampai matang secara merata atau sesuai yang diharapkan. *Dryer* dilengkapi dengan *cooling fan* agar selama beroperasi bahan terhindar dari panas yang berlebihan. Remahan karet yang sudah matang atau kering kemudian dikeluarkan dan didinginkan di bawah kipas pendingin sampai suhu kamar atau tidak melebihi 40°C . Kemudian ditimbang 35 kg atau 33,33 kg per bale digital berkapasitas 300 kg. Selanjutnya karet remah tersebut dipadatkan hingga kompak dengan ukuran yang diinginkan konsumen, menggunakan *balling press* selama 10- 15 detik, dan dikemas (Utomo *et al.*, 2012). Rekapitulasi masukan dan keluaran air umpan dan limbah cair, uap air, produk dan loss pada pengolahan karet remah berbahan baku lateks kebun dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Neraca massa proses pengolahan karet remah berbahan baku lateks kebun (Utomo, 2008)

2.1.3. Proses Pengolahan Limbah Cair Karet Berbahan Baku Lateks Kebun

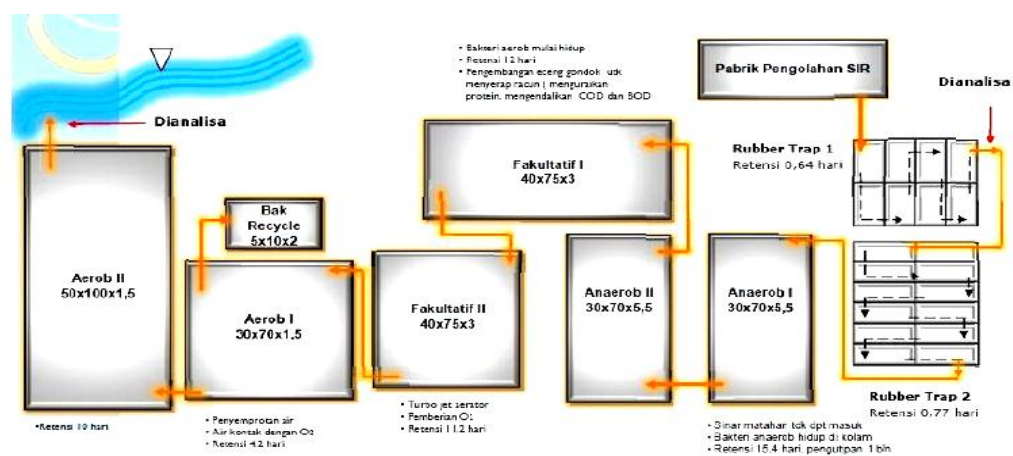
Limbah cair industri karet remah mengandung ammonia, BOD₅, COD, Nitrat, Phospat serta total padatan dalam konsentrasi tinggi. Kadar ammonia, BOD₅ dan COD yang terkandung pada limbah cair menurut penelitian Yulita (2014) sebesar 14,11 mg/L, 6,9 mg/L dan 45,6 mg/L. Sedangkan menurut Utomo (2012) senyawa nitrogen yang terkandung sebesar 100-300 mg/L N-NH₃ dan Phospat sebesar 20 mg/L P-PO₄. Parameter dan baku mutu serta analisis efluen limbah cair PTPN VII Unit Way Berulu disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter dan baku mutu serta analisis efluen limbah cair PTPN VII Unit 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)

* Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. Kep/51/MENLH/10/1995



Gambar 2. Alur Proses IPAL PTPN VII Unit Usaha Way Berulu

Sumber: PTPN VII Unit Usaha Way Berulu (2014)

Proses penanganan limbah cair yang dihasilkan dari proses pengolahan karet remah berbahan baku lateks kebun pada PTPN VII Unit Usaha Way Berulu adalah menggunakan sistem kolam yang terdiri atas 2 unit *rubber trap*, 2 unit kolam anaerobik, 2 unit kolam fakultatif dan 2 unit kolam aerobik (Gambar 2).

Kolam *rubber trap* digunakan untuk memisahkan padatan dari limbah cair yaitu partikel – partikel karet yang tidak menggumpal pada proses koagulasi. Partikel – partikel karet dalam *rubber trap* akan membentuk gumpalan dan dikutip setiap beberapa hari sekali dan masih memiliki nilai ekonomi karena dapat digunakan sebagai bahan baku, terutama industri alas kaki.

Kolam anaerobik merupakan salah satu bagian terpenting dalam rangkaian kolam pada unit pengolahan limbah cair pabrik karet karena pada kolam ini senyawa organik yang potensial sebagai pencemar didegradasi oleh bakteri anaerob. Pada tahap anaerobik terjadi penguraian senyawa organik yang menghasilkan biogas yaitu gas metana (CH_4), ammonia, sulfida, dan karbon dioksida (CO_2). Proses penguraian senyawa organik dilanjutkan pada kolam fakultatif, yaitu penguraian lebih lanjut dari senyawa karbon yang belum terurai pada kolam anaerobik. Pada kolam aerobik terjadi penyisihan senyawa karbon yang tersisa menjadi CO_2 dan nitrogen ammonia dikonversi menjadi nitrogen nitrat yang selanjutnya diubah menjadi nitrogen bebas pada tahap anoksik (Utomo, 2012).

Penanganan limbah cair pabrik pengolahan karet alam di Indonesia umumnya belum menggunakan proses deamonifikasi untuk menghilangkan nitrogen ammonia, sehingga kandungan ammonium limbah yang telah diolah masih relatif tinggi. Nitrogen yang terdapat pada limbah cair karet berasal dari serum dan

partikel karet yang belum terkoagulasi. Bentuk senyawa nitrogen yang paling umum adalah protein amonia, nitrit dan nitrat yang ini dihasilkan dari perombakan protein. Tingginya kandungan nitrogen pada limbah cair karet di karenakan adanya penambahan ammonia untuk pencegahan prakoagulasi pada lateks. Selain itu, pada tahap anaerobik pada pengolahan limbah cair karet terjadi penguraian senyawa organik yang meghasilkan gas metana, ammonia, sulfida dan karbondioksida (Utomo *et al*,2012).

Pada proses aerob bahan-bahan organik terlarut akan masuk ke dalam sel secara absorpsi, sedangkan yang bersifat koloid masuk secara adsorpsi. Proses espirasi sel mengoksidasi senyawa organik dan menghasilkan senyawa fosfat yang digunakan sebagai sumber tenaga. Kandungan senyawa Phospat dalam bentuk Ortophospat dapat meningkat karena pada proses anaerobik secara biologis menyebabkan terjadi proses pelepasan Ortophospat ke dalam limbah cair oleh mikroorganisme. Senyawa nitrogen nitrat dan Ortophospat pada pada limbah cair menimbulkan dampak berupa pengkayaan badan air (eutrofikasi) yang ditandai dengan pertumbuhan ganggang secara pesat (Tanto, 2003).

Limbah cair industri karet dapat dimanfaatkan sebagai media pertumbuhan mikroalga. N dan P yang terkandung pada limbah cair karet remah digunakan mikroalga sebagai nutrisi untuk tumbuh. Menurut Hasil penelitian Zulfarina *et al.* (2013) dan Sriharti (2004) menunjukkan bahwa jenis mikroalga *Chlorella pyrenoidosa* dan *Chlorella* sp. dapat menurunkan kadar pencemar (COD) 52,6 dan 96,7 % pada limbah cair karet setelah dikultivasi selama 15 hari. *Chlorella vulgaris* yang dikultivasi pada media limbah cair karet selama 7 hari pada bioreaktor closed pond dengan penambahan pupuk NPK dapat menurunkan beban

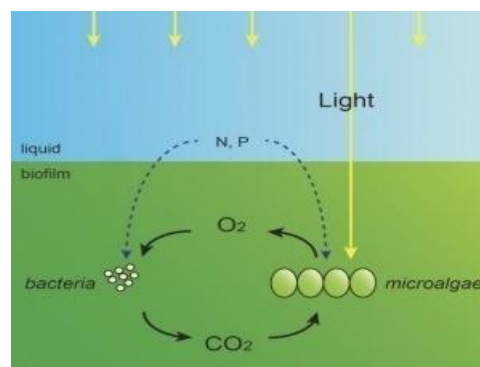
cemaran N-NH₃ 99,3%, COD 40%, Fe 75,5%, Ca 93,4% dan Mg 36,6%, (Yulita, 2014). Berdasarkan penelitian Komalasari (2015), outlet limbah cair karet remah yang berasal dari kolam Fakultatif II, Aerobik I dan Aerobik II dapat digunakan sebagai pertumbuhan mikroalga, outlet terbaik diantara kolam tersebut adalah fakultatif II yang menghasilkan kepadatan sel *Nannochloropsis* sp tertinggi. *Nannochloropsis* sp. yang dikultivasi pada media limbah cair karet remah kolam Fakultatif II tanpa pengadaptasian kultur menghasilkan kepadatan sel tertinggi mencapai $5,485 \times 10^4$ sel/ml dan menghasilkan *yield* kering sebesar 0,8383 g/L serta mampu menurunkan cemaran berupa N-NH₃ sebesar 99,6%, P-PO₄ sebesar 90% dan COD sebesar 22% (Wulan, 2015)

2.2. Mikroalga

Mikroalga merupakan salah satu agen biologi akuatik yang diduga dapat berperan dalam mendegradasi polutan dalam limbah cair karet. Hal ini karena mikroalga dapat tumbuh dalam kondisi pertumbuhan alternatif dengan kondisi daya adaptasi kuat serta limbah cair karet juga mengandung bahan organik dan nutrisi yang tinggi untuk pertumbuhan alga (Richmond, 1986). Karena adanya klorofil yang mendukung, mikroalga menggunakan energi sinar untuk mengubah CO₂ menjadi glukosa dan ATP serta membebaskan oksigen sebagai produk. Mikroalga hanya membutuhkan air, sinar matahari, CO₂ dan nutrisi (N dan P) untuk kelangsungan hidupnya (Bjornstad, 2005).

Dalam proses fotosintesisnya, mikroalga memanfaatkan dan mengubah unsur-unsur anorganik menjadi bahan organik dengan bantuan cahaya matahari.

Kemampuan dalam menyerap cahaya matahari oleh seluruh permukaan sel menjadikan peranannya lebih penting dari pada tanaman air (Asmara, 2005). Mikroalga menggunakan cahaya matahari, karbon dioksida (CO_2), dan bahan – bahan organik seperti nitrogen dan Phospat untuk fotosintesis. Sehingga dengan adanya mikroalga di perairan, kadar nitrogen dan Phospat di air dapat berkurang. Fotosintesis mikroalga tersebut menghasilkan O_2 dan juga membentuk biomassa. Oksigen (O_2) akan digunakan oleh bakteri untuk proses degradasi aerobik polutan organik. Bakteri menghasilkan CO_2 dari proses metabolismenya dan zat tersebut selanjutnya akan digunakan oleh mikroalga untuk fotosintesis berikutnya. Mikroalga tidak mendegradasi bahan organik namun adanya simbiosis mutualisme antara mikroalga dan bakteri aerob dapat menurunkan kadar COD. Oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis mikroalga dimanfaatkan oleh bakteri aerob untuk mengoksidasi senyawa organik pada limbah cair karet (Wulandari, 2015). Mekanisme simbiosis mikroalga dan bakteri ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme simbiosis mikroalga dan bakteri
Sumber: Siregar *et al* (2012)

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap laju pertumbuhan dan metabolisme dari mikroalga adalah sebagai berikut:

a.) Derajat Keasaman (pH)

Variasi pH dalam media kultur dapat mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan kultur mikroalga antara lain mengubah keseimbangan karbon anorganik, mengubah ketersediaan nutrisi dan mempengaruhi fisiologi sel. Kisaran pH untuk kultur alga antara 7-9, kisaran optimum untuk alga laut berkisar antara 7,8-8,5. Secara umum kisaran pH yang optimum untuk kultur mikroalga adalah antara 7-9. Semakin tinggi kerapatan sel pada medium kultur menyebabkan kondisi medium kultur meningkat tingkat keasamaannya (pH semakin tinggi) dan hal itu menyebabkan peningkatan CO_2 terlarut dalam medium kultur (Wijanarko *et al*, 2007).

b.) Salinitas

Kisaran salinitas yang berubah-ubah dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroalga. Beberapa mikroalga dapat tumbuh dalam kisaran salinitas yang tinggi tetapi ada juga yang dapat tumbuh dalam kisaran salinitas yang rendah. Namun, hampir semua jenis mikroalga dapat tumbuh optimal pada salinitas sedikit dibawah habitat asal. Pengaturan salinitas pada media yang diperkaya dapat dilakukan dengan pengenceran menggunakan air tawar. Kisaran salinitas yang paling optimum untuk pertumbuhan mikroalga adalah 25-35 (Sylvester *et al.*, 2002).

c.) Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses kimia, biologi dan fisika, peningkatan suhu dapat menurunkan kelarutan bahan dan dapat menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi mikroalga di perairan. Secara

umum suhu optimal dalam kultur mikroalga berkisar antara 20-24 °C. Suhu dalam kultur diatur sedemikian rupa bergantung pada media yang digunakan. Suhu di bawah 16 °C dapat menyebabkan kecepatan pertumbuhan turun, sedangkan suhu di atas 36 °C dapat menyebabkan kematian (Taw, 1990).

d.) Cahaya

Cahaya merupakan sumber energi dalam proses fotosintesis yang berguna untuk pembentukan senyawa karbon organik. Intensitas cahaya sangat menentukan pertumbuhan mikroalga yaitu dilihat dari lama penyinaran dan panjang gelombang yang digunakan untuk fotosintesis. Cahaya berperan penting dalam pertumbuhan mikroalga, tetapi kebutuhannya bervariasi yang disesuaikan dengan kedalaman kultur dan kepadatannya. Pada kondisi gelap, mikroalga tidak melakukan proses sintesa biomassa melainkan mempertahankan hidupnya dengan cara melakukan respirasi sel sehingga medium kultur menjadi jenuh oleh senyawa karbonat yang tidak dimanfaatkan mikroalga. Hal ini menyebabkan pengurangan proses transfer gas CO₂ ke dalam medium kultur (Wijanarko *et al*, 2007).

Namun pada akhirnya antara kondisi terang maupun gelap menghasilkan produksi biomassa yang konstan karena CTR (*Carbon Transfer Rate*) pada umumnya memiliki nilai yang tinggi pada awal masa pertumbuhan dimana konsentrasi gas CO₂ di dalam medium kultur masih di bawah ambang kejenuhan, sehingga gas CO₂ lebih mudah larut dalam medium kultur. Selain itu, kenaikan jumlah sel yang sangat besar mempertinggi penyerapan gas yang terlarut dalam bentuk HCO₃⁻ oleh mikroalga. CTR kemudian akan cenderung menurun seiring dengan waktu karena terjadinya ketidaksetimbangan antara peningkatan jumlah sel dengan

besarnya biofiksasi CO₂ yang mengakibatkan produksi biomassa menjadi konstan kemudian menurun.

e.) Karbondioksida

Karbondioksida diperlukan oleh mikroalga untuk membantu proses fotosintesis. Karbondioksida dengan kadar 1-2% biasanya sudah cukup digunakan dalam kultur mikroalga dengan intensitas cahaya yang rendah. Kadar karbondioksida yang berlebih dapat menyebabkan pH kurang dari batas optimum sehingga akan berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroalga (Taw, 1990). Karbondioksida (CO₂) merupakan faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan metabolisme mikroalga (Hoshida, et al., 2005). Mikroalga dapat menyerap CO₂ pada kisaran pH dan konsentrasi gas CO₂ yang berbeda. Efisiensi dari penyerapan CO₂ oleh mikroalga tergantung dari pH kultivasi dan dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi gas CO₂. Semakin tinggi konsentrasi gas CO₂ maka semakin besar pula pembentukan biomassa yang terjadi. Gas CO₂ diserap oleh mikroalga dan digunakan untuk proses biofiksasi menghasilkan biomassa (Olaizola, et al., 2004).

Menurut Benemann (1997), penggunaan karbondioksida pada kultivasi mikroalga memiliki beberapa keuntungan, seperti mikroalga tumbuh di air, lebih mudah diamati pertumbuhannya daripada tumbuhan tingkat tinggi, mikroalga dapat tumbuh sangat cepat dan mikroalga tidak membutuhkan tempat atau lahan yang sangat luas untuk tumbuh.

f.) Nutrient

Mikroalga memperoleh nutrisi dari air laut yang sudah mengandung nutrisi yang cukup lengkap. Namun pertumbuhan mikroalga dalam kultur dapat mencapai

optimum dengan menambahkan nutrisi yang tidak terkandung dalam air laut tersebut. Nutrisi yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga terdiri dari makro dan mikro nutrisi. Untuk makro nutrisi terdiri dari C, H, N, P, K, S, Mg dan Ca, sedangkan untuk mikro nutrisi antara lain Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Mo, Bo, Vn dan Si. Faktor pembatas untuk mikroalga adalah N dan P (Dallaire, et al., 2007).

Nutrien di dalam media kultur merupakan faktor yang tidak kalah penting dalam mempengaruhi pertumbuhan dan kandungan nutrisi mikroalga. Beberapa komponen yang memiliki peranan penting diantaranya: Mangan (Mn) sebagai komponen struktural membran kloroplas (Laura dan Paolo, 2006) dan merupakan aktivator enzim pada reaksi terang fotosintesis (Prihatini, 2007). Magnesium (Mg) berperan sebagai kofaktor dalam pembentukan asam amino dan klorofil, Besi (Fe) berperan dalam sintesis klorofil dan sintesis protein-protein penyusun kloroplas.

g.) Aerasi

Aerasi dalam kultivasi mikroalga digunakan dalam proses pengadukan media kultur. Pengadukan sangat penting dilakukan bertujuan untuk mencegah terjadinya pengendapan sel, nutrisi tersebar dengan baik sehingga mikroalga dalam kultur mendapatkan nutrisi yang sama, mencegah stratifikasi suhu, dan meningkatkan pertukaran gas dari udara ke media (Taw, 1990).

Faktor pertumbuhan mikroalga mempengaruhi hasil biomassa, maupun jenis produk yang diinginkan. Terkadang biomassa yang sedikit menghasilkan produk yang diinginkan dalam jumlah banyak, untuk itu diperlukan optimasi komposisi yang seimbang antara banyaknya biomassa dan banyaknya produk dalam biomassa mikroalga. Beberapa faktor penting bagi produksi mikroalga skala

massal di antaranya (1) intensitas cahaya, (2) suhu, (3) media pertumbuhan (4) pH, dan (5) salinitasi (Hadiyanto & Azim, 2012).

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

Selain memiliki peranan penting dalam habitatnya, mikroalga juga memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia, salah satunya dalam bidang kesehatan. Hal ini disebabkan kandungan nilai gizinya yang tinggi. Mikroalga dapat menambah nilai gizi pada makanan dan mempunyai pengaruh yang positif terhadap kesehatan manusia. Biomassa mikroalga kaya nutrisi antara lain asam lemak omega 3 dan 6, asam amino esensial (leusin, isoleusin, valin, dan lain-lain), dan karoten. Beberapa jenis mikroalga juga memiliki kandungan protein yang tinggi. Asam amino pada mikroalga lebih baik jika dibandingkan dengan sumber protein makanan yang lain (Hasanah, 2011). Kandungan protein dan karbohidrat dari beberapa spesies mikroalga dapat dilihat di tabel 2.

Tabel. 2. Kandungan protein dan karbohidrat dari beberapa spesies mikroalga dalam % berat kering

Mikroalga	Protein	Karbohidrat
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50-56	10-17
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	47	-
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	8-18	21-52
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	17
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57	26
<i>Spyrogira sp.</i>	6-20	33-64
<i>Dunaliella bioculata</i>	49	4
<i>Dunaliella salina</i>	57	32
<i>Euglena gracilis</i>	39-61	14-18
<i>Prymnesium parvum</i>	28-45	25-33
<i>Tetraselmis sp.</i>	52	15
<i>Propyridium cruentum</i>	28-39	40-57
<i>Spitulina plantesis</i>	46-63	8-14
<i>Spirulina maxima</i>	60-71	13-16
<i>Synechococcus sp.</i>	63	15
<i>Anabaena cylindrical</i>	43-56	25-30

Sumber: Jhon *et al* (2011)

2.3. *Spirulina sp.*

Spirulina sp. merupakan mikroalga bersifat multiseluler yang termasuk dalam golongan *cyanobacterium* mikroskopik berfilamen, memiliki lebar spiral antara 26-36 μm dan panjang spiralnya antara 43-57 μm (Yudiati *et al.*, 2011). Dibawah mikroskop, jenis alga ini nampak terlihat sebagai filamen berbentuk spiral beraturan yang merupakan rantai yang berwarna hijau kebiruan berbentuk silindris. Filamen ini merupakan koloni sel dan dapat bergerak sepanjang sumbunya. Filamen mikroalga ini terdiri dari rangkaian sel yang disebut *trichome* dengan ukuran 6-8 milimikron (Eykelenburg, 1977).

Klasifikasi *Spirulina* sp. menurut Bold dan Wyne (1985) adalah sebagai berikut:

Divisi : *Cyanophyta*

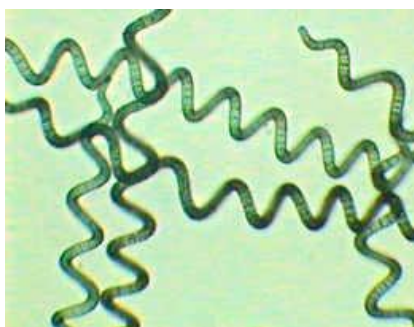
Kelas : *Cyanophyceae*

Ordo : *Nostocales*

Famili : *Oscilatoriaceae*

Genus : *Spirulina*

Spesies : *Spirulina* sp.



Gambar 4. *Spirulina* sp. (Sciento, 2008)

Struktur sel *Spirulina* sp. hampir sama dengan tipe sel alga lainnya dari golongan *cyanobacteria*. Dinding sel merupakan dinding sel gram-negatif yang terdiri dari 4 lapisan, dengan lapisan utamanya tersusun dari peptidoglikan yang membentuk lapisan koheren. Peptidoglikan berfungsi sebagai pembentukan pergerakan pada *Spirulina* sp. yang membentuk spiral teratur (Eykelenburg, 1977). Bagian tengah dari nukleoplasma mengandung beberapa karboksosom, ribosom, badan silindris, dan lemak (Mohanty *et al.*, 1997).

Spirulina sp.. merupakan *cyanobacteria* yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku industri makanan karena mengandung protein 60–71%, lemak 8%, karbohidrat 16%, dan vitamin serta 1,6% *Chlorophyll-a*, 18% *Phycocyanin*, 17% β -*Carotene*, dan 20 – 30 % γ -linoleic acid dari total asam lemak (Jongkon P. *et*

al, 2008). *Spirulina* sp. juga telah digunakan sebagai suplemen atau makanan pelengkap oleh penduduk Afrika sebagai sumber makanan tradisional. Kandungan nutrisi *Spirulina* sp. yang lengkap terutama protein yang tinggi menyebabkan *Spirulina* sp. memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber protein. Pemenuhan kebutuhan nutrisi untuk *Spirulina* sp. sangat bergantung pada ketersediaannya dalam medium kultur. Komposisi nutrisi yang lengkap dan konsentrasi nutrisi yang tepat menentukan produksi biomassa dan kandungan gizi mikroalga.

Mikroalga jenis ini termasuk mikroalga yang mudah untuk dibudidayakan, karena budidayanya dapat dilakukan di dalam maupun di luar ruangan, dan pemanenannya mudah dilakukan. *Spirulina* secara alami hidup di perairan tawar hingga salinitas tinggi berkisar 15-30 ppt (Babadzhanov *et al*, 2004). Kultivasi *Spirulina* tidak membutuhkan lahan yang luas. Kultivasi pada lahan satu hektare *Spirulina* dapat memenuhi kebutuhan protein 400 orang, sedangkan kacang kedelai hanya mampu memenuhi 20 orang dan beras hanya dua orang dalam satu tahun (Tietze 2004). Secara umum, *Spirulina* dapat tumbuh dengan baik pada kisaran pH 8-11, dengan intensitas cahaya 2000-3500 lux. Periode penyinaran yang umum digunakan adalah 12 jam, walau beberapa peneliti menyatakan bahwa pertumbuhan terbaik diperoleh pada periode penyinaran 16 jam dengan waktu gelap 8 jam pada intensitas cahaya 2000 ± 200 lux, temperatur $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$ dan pH 9.1 (Venny S. dan Leenawaty, 2007).

Spirulina sp. dapat ditumbuhkan dalam media yang berbeda bahkan dalam media limbah. *Spirulina* sp. tumbuh dengan memanfaatkan gula sebagai sumber karbon,

dan hidrolisat protein sebagai sumber nitrogen. Bahan-bahan organik yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroalga ini terdapat melimpah dalam limbah–limbah yang berasal dari tanaman seperti limbah tapioka, limbah lateks, dan kelapa sawit. Berdasarkan penelitian dari Sumiarsa *et. al.*, (2011), diketahui bahwa *Spirulina* sp. berhasil dijadikan sebagai biofilter pada limbah cair peternakan sapi. Limbah cair peternakan sapi mengandung bahan organik yang dimanfaatkan oleh *Spirulina* sp. sebagai bahan makanan khususnya nitrat (NO₃).

2.4. *Dunaliella* sp.

Klasifikasi *Dunaliella* (Bougis 1979 diacu dalam Isnansetyo dan Kurniastuty 1995), sebagai berikut:

Filum : *Chlorophyta*

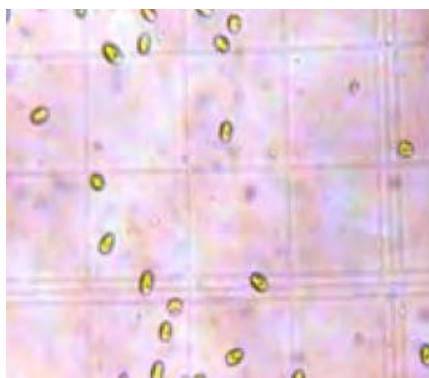
Kelas : *Chloriophyceae*

Ordo : *Volvocales*

Famili : *Polyblepharidaceae*

Genus : *Dunaliella*

Spesies : *Dunaliella* sp.



Gambar 5. *Dunaliella* sp. (Yudha, 2008)

Secara morfologi, *Dunaliella* sp. merupakan mikroalga yang bersifat uniseluler, mempunyai sepasang flagella yang sama panjangnya, sebuah kloroplast berbentuk cangkir, dan tidak memiliki dinding sel (Borowitzka,1988). *Dunaliella* sering juga disebut sebagai flagellata uniseluler hijau (green unicellulair flagellata). Bentuk selnya juga tidak stabil dan beragam, dapat berbentuk lonjong, bulat silindris, ellip, dan lain-lain. Hal ini sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, pertumbuhan, dan intensitas sinar matahari (Isnansetyo dan Kurniastuty 1995).

Dunaliella memiliki kisaran toleransi pH yang luas mulai dari pH 1 (*Dunaliella acidophila*) sampai pH 11 (*Dunaliella salina*). Demikian halnya juga dengan suhu, mulai dari -35 °C sampai 40 °C (Borowitzka ,1988). Spesies *Dunaliella* sp. dapat tumbuh optimal pada pH 6-6,5 dan kisaran suhu antara 22-25 °C dengan salinitas air 30-35 ‰ (Redjeki dan Ismail 1993 diacu dalam Tjahjo et al. 2002).

Tabel 3. Komposisi Kimia *Dunaliella* sp.

Senyawa Kimia	Kadar (%)
Protein	47,43
Karbohidrat	35,11
Lemak	9,06
Abu	18,12

Sumber: Tjahjo *et al* (2002)

2.5. *Tetraselmis* sp.

Tetraselmis sp. merupakan jenis mikroalga yang memiliki warna tubuh kehijauan atau dikenal dengan flagelata berklorofil. *Tetraselmis* sp. merupakan alga bersel tunggal, berbentuk oval elips dan memiliki empat buah flagella yang berukuran

0,75 – 1,2 kali panjang tubuhnya, yang bergerak aktif seperti hewan. Inti sel jelas dan kecil serta dinding sel mengandung bahan selulosa dan pektosa (Butcher, 1959). Memiliki klorofil sehingga berwarna hijau cerah yang terdapat pada kloroplas. Pigmen klorofilnya terdiri dari dua macam yaitu karoten dan xantofil. Tiap satu sel *Tetraselmis* sp. (Gambar 6b) hanya memiliki satu kloroplas yang mengandung pyrenoid.

Klasifikasi *Tetraselmis* sp. menurut Butcher (1959) adalah sebagai berikut:

Filum : *Chlorophyta*

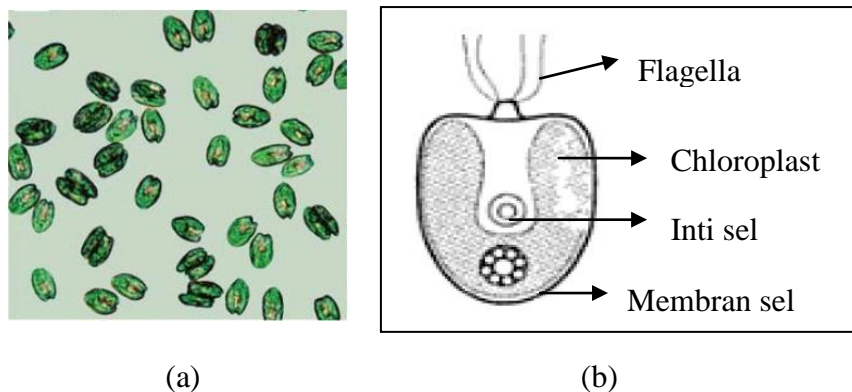
Kelas : *Chlorophyceae*

Ordo : *Volvocales*

Sub ordo : *Chlamidomonacea*

Genus : *Tetraselmis*

Spesies : *Tetraselmis* sp.



Gambar 6. *Tetraselmis* sp. (a) (Biondi dan Tredici, 2011) (b) Morfologi sel *Tetraselmis* sp. (Rostini, 2007)

Tetraselmis sp. merupakan mikroalga yang hidupnya sangat peka terhadap perubahan lingkungan. Apabila lingkungan tempat hidupnya mengalami perubahan yang sangat kecil sekalipun, maka akan mempengaruhi kehidupan serta aktivitasnya. pH optimum untuk kultur *Tetraselmis* sp. berkisar 8-9,5 (Fogg dan

Thake, 1987). Menurut Barsanti dan Gualtieri (2006) pH yang sesuai untuk kultur fitoplankton adalah antara 7-9 dengan rentang optimum 8,2-8,7. *Tetraselmis* sp. dapat hidup pada kondisi salinitas dengan rentang cukup lebar yaitu 15-36 ppt (kondisi optimal 25-35 ppt) dan masih dapat mentoleransi suhu antara 15-35°C (kondisi optimal 23°-25°C) (Fabregas *et.al*, 1984 dalam Rostini, 2007).

Kandungan gizi yang dimiliki *Tetraselmis* sp. adalah protein 49,75 %, lemak 0,910 % dari berat kering (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995). Menurut Kurniastuty dan Isnansetyo (1995), *Tetraselmis* sp. merupakan jenis pakan alami yang sering digunakan sebagai pakan dalam budidaya kerang dan keduanya mempunyai nilai gizi yang baik karena zat gizinya yang cukup tinggi terutama kandungan proteinnya. Selain itu *Tetraselmis* sp. Memiliki kemampuan mereduksi bahan organik cukup tinggi. Berdasarkan penelitian Wulandari (2015) *Tetraselmis* sp. yang dikultivasi pada limbah cair karet mampu menurunkan kadar COD hingga 29%, menurunkan kadar PO₄ hingga 86% dan N-NH₃ hingga 99,4%. Sedangkan biomassa mikroalga dari hasil kultivasi selama 8 hari untuk *Tetraselmis* sp. yaitu sebesar 0,5274 g/L.

2.6. Kultivasi dan Teknik Pemanenan Mikroalga

Kultivasi merupakan suatu teknik untuk menumbuhkan mikroalga dalam lingkungan tertentu yang terkontrol. Kultivasi bertujuan untuk menyediakan spesies tunggal pada kultur masal mikroalga untuk tahap pemanenan. Mikroalga merupakan organisme autotrof yang tumbuh melalui proses fotosintesis. Struktur uniseluler mikroalga memungkinkan mengubah energi matahari menjadi energi

kimia dengan mudah. Mikroalga dapat tumbuh dimana saja, baik di ekosistem perairan maupun di ekosistem darat. Menurut Harun *et al* (2010), Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga, diantaranya faktor abiotik (cahaya matahari, temperatur, nutrisi, O₂, CO₂, pH, salinitas), faktor biotik (bakteri, jamur, virus, dan kompetisi dengan mikroalga lain), serta faktor teknik (cara pemanenan, dll) . Mikroalga dapat tumbuh dengan sangat cepat pada kondisi iklim yang tepat. Umumnya, mikroalga menduplikasikan diri dalam jangka waktu 24 jam atau bahkan 3,5 jam selama fasa pertumbuhan eksponensial (Chisti, 2007).

Sebagian besar mikroalga menggunakan cahaya dan karbon dioksida (CO₂) sebagai sumber energi dan sumber karbon (organisme photoautotrophic). Pertumbuhan optimum mikroalga membutuhkan temperatur air berkisar 15 - 30°C. Media pertumbuhan juga harus mengandung elemen anorganik yang berfungsi dalam pembentukan sel, seperti nitrogen, fospor, dan besi. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan teknik, prosedur dan proses produksi mikroalga dalam jumlah besar. *Open ponds system* dan *photobioreactor system* merupakan teknik budidaya mikroalga yang paling sering digunakan.

Open ponds merupakan sistem budidaya mikroalga tertua dan paling sederhana. Sistem tersebut sering dioperasikan secara kontinyu. Umpan segar (mengandung nutrisi termasuk nitrogen, phosphor, dan garam inorganic) ditambahkan di depan paddlewheel dan setelah beredar melalui loop-loop mikroalga tersebut dapat dipanen di bagian belakang dari paddlewheel. Paddlewheel digunakan untuk proses sirkulasi dan proses pencampuran mikroalga dengan nutrisi. Beberapa sumber limbah cair dapat digunakan sebagai kultur dalam budidaya mikroalga. Pemilihan sumber limbah cair tersebut berdasarkan pemenuhan kebutuhan nutrisi

dari mikroalga. Mikroalga laut dapat menggunakan air laut atau air dengan tingkat salinitas tinggi sebagai media kultur. Biaya operasional sistem *open ponds* lebih rendah dibandingkan dengan sistem photobioreactor. *Open ponds* merupakan sistem kolam terbuka sehingga mengalami evaporasi akut, dan penggunaan karbon dioksida (CO₂) menjadi tidak efisien. Produktivitas mikroalga juga dibatasi oleh kontaminasi dari alga atau mikroorganisme yang tidak diinginkan. (Handayani, Noer Abyor dan D. Ariyanti, 2012).

Photobioreactor dikembangkan untuk mengatasi permasalahan kontaminasi dan evaporasi yang sering terjadi dalam sistem *open pond*. Sistem tersebut terbuat dari material tembus pandang dan umumnya diletakkan di lapangan terbuka untuk mendapatkan cahaya matahari. Pada dasarnya, *photobioreactor* terdapat dalam 2 jenis, plate dan tubular. Apabila dibandingkan, tipe tubular lebih cocok untuk aplikasi di luar ruangan karena luasnya permukaan untuk proses iluminasi. Namun, *flat plate photobioreactor* juga sering digunakan karena tipe ini dapat meratakan intensitas penyinaran sehingga sel yang dihasilkan memiliki densitas yang lebih tinggi.

Teknik pemanenan yang banyak diaplikasikan untuk proses pemanenan mikroalga adalah flokulasi, sentrifugasi, dan filtrasi. Kinerja teknik pemanenan secara kuantitatif dievaluasi menggunakan beberapa parameter antara lain: laju pemisahan air, kandungan padatan pada lumpur mikroalga, dan yield dari proses.. Beberapa teknik pemanenan mikroalga diantaranya: (1) 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. (2)

Flokulasi adalah proses dimana partikel zat terlarut dalam larutan membentuk agregat yang disebut flok. Sel mikroalga umumnya berukuran 5-50 μm . Sel mikroalga dapat membentuk suspensi cukup stabil dengan bahan kimia yang memiliki muatan negatif pada permukaannya. (3) 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* (Handayani, Noer Abyor dan D. Ariyanti, 2012).

2.7. Manfaat Mikroalga Sebagai Sumber Protein

Produksi mikroalga sebagai stok pangan mulai digalakkan secara masiv ketika perang dunia kedua, dimana Jepang, Amerika, dan Jerman waktu itu sedang menghadapi krisis. (Potvin & Zhang, 2010). Sampai saat ini mikroalga masih digunakan oleh masyarakat sebagai sumber protein, vitamin, dan mineral, dan lebih dikenal sebagai pangan fungsional. Dibandingkan dengan sumber lain seperti yeast maupun fungi, mikroalga memiliki keunggulan di aspek keamanannya.

Mikroalga sebagai sumber protein maupun sebagai sumber pangan telah lama diketahui, dan berdasarkan informasi serta penelitian para ahli, mikroalga yang berbasis pangan tidak memberi efek negatif bagi tubuh meski dikonsumsi secara rutin dalam jangka waktu lama maupun singkat. Dalam hubungannya dengan pangan fungsional, mikroalga dapat dimasukkan dalam klasifikasi ini mengingat mikroalga dapat berfungsi sebagai penyedia sumber protein, karbohidrat, dan

lemak alami yang bermanfaat dalam penyediaan energi dalam tubuh. Namun lebih jauh lagi, mikroalga juga mampu berfungsi sebagai sumber vitamin, dan bahkan memberikan efek penyembuh dan detoksifikasi dalam tubuh. Sebagai contoh adalah mikrolaga jenis *Isochrysis galbana* dapat digunakan sebagai sumber bioaktif untuk penyembuhan penyakit tuberkolosis (Prakash & Bhimba, 2004).

Jenis mikroalga yang berpotensi untuk pangan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Jenis mikroalga yang berpotensi untuk pangan

Mikroalga	Protein	Karbohidrat	Lipid
<i>Anabaena cylindria</i>	43-56	25-30	4-7
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	62	23	3
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	17	21
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57	26	2
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6
<i>Euglena gracilis</i>	39-61	14-18	14-20
<i>Spirulina plantensis</i>	46-63	8-14	4-9
<i>Spirulina maxima</i>	60-71	13-16	6-7
<i>Synechococcus sp.</i>	63	15	11

Sumber: (2007)

III. BAHAN DAN METODE

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari - April 2016 di Green House Rumput Laut & Laboratorium Fitoplankton, Laboratorium Kualitas Air Balai Besar Perikanan Budidaya Laut Lampung dan Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian Politeknik Negeri Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor terbuka dari *fibreglass* ukuran (35x14x19)cm volume kerja 7 L, aerator dan seperangkat alat untuk analisis meliputi pH meter, DO meter, haemocytometer, sedgwick rafter colony counter, mikroskop, HACH spektrofotometer, DRB 200, *vial* HACH, gelas ukur, erlenmeyer, labu takar, cuvet, pipet mikro, pipet tetes, spatula, oven, desikator, neraca analitik, alumunium foil, kertas saring dan kain satin.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair karet IPAL PTPN VII Unit Usaha Way Berulu, kultur alga murni *Spirulina* sp., *Dunaliella* sp. dan *Tetraselmis* sp. yang diperoleh dari koleksi Balai Besar Perikanan Budidaya Laut (BBPBL) Lampung, aquades, sodium arsenit, brucine, larutan oksidator, larutan

fenol, larutan H_3PO_4 , larutan H_2SO_4 , NH_4Cl , $NaOH$, $SnCl_2$, ammonium molibdat, $K_2Cr_2O_7$, $HgSO_4$.

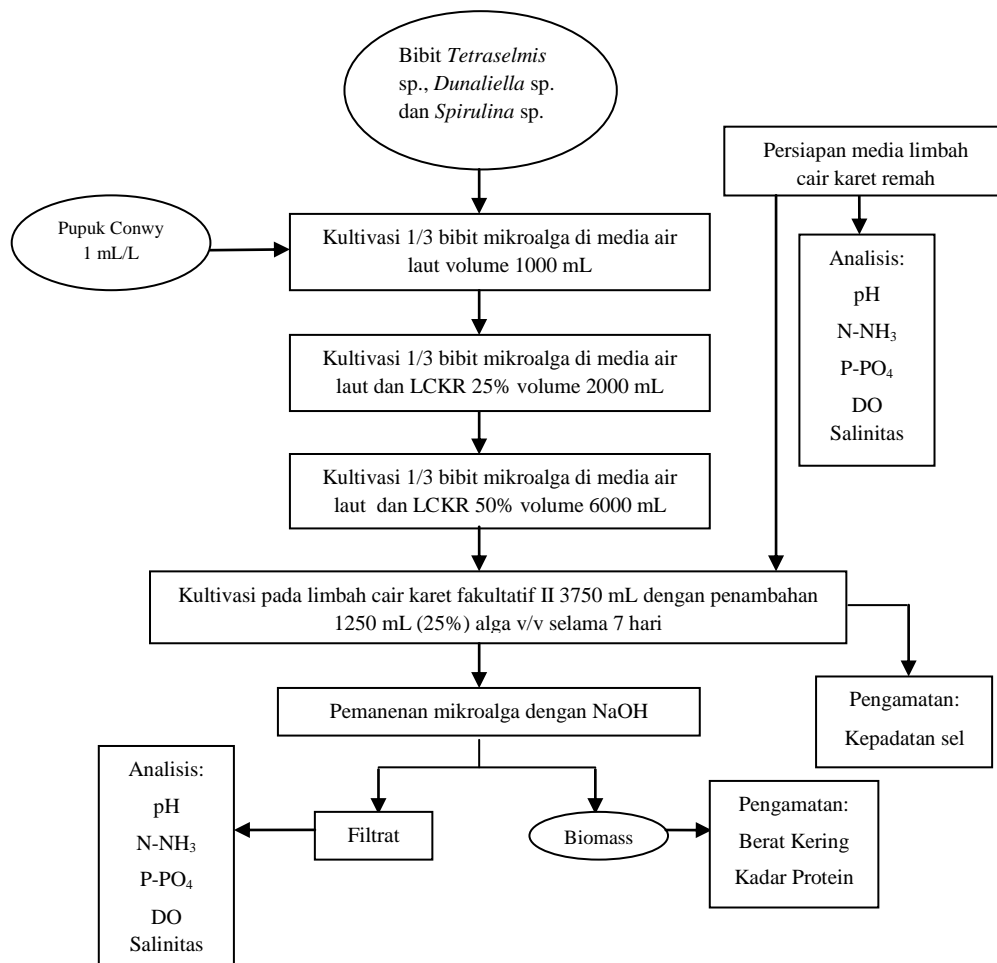
3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan 3 perlakuan jenis mikroalga yaitu *Spirulina* sp., *Dunaliella* sp. dan *Tetraselmis* sp. yang akan dikultivasi kedalam media limbah cair karet fakultatif II yang telah di atur salinitasnya 30 ppt selama 7 hari dalam reaktor terbuka volume 5 liter. Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga menghasilkan 9 satuan percobaan.

Pengamatan yang dilakukan setiap hari yaitu pengamatan kepadatan sel mikroalga. Analisis terhadap limbah cair karet untuk media kultivasi dilakukan sebelum dan sesudah kultivasi, meliputi analisis $N-NH_3$, $P-PO_4$, pH, Salinitas dan DO. Sedangkan pengamatan yang dilakukan terhadap biomassa mikroalga yaitu pengamatan bobot kering dan kadar protein. Data yang diperoleh selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang kemudian dianalisis secara deskriptif.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pada penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 7. Diagram alir perolehan biomassa (Wulan, 2015) dimodifikasi.

3.4.1. Persiapan Media dan Pemiakan Kultur Murni

Media yang digunakan untuk kultivasi mikroalga adalah limbah cair industri karet remah berbahan baku lateks kebun dari kolam IPAL PTPN VII (Persero) Unit Way Berulu yang dimasukkan kedalam reactor terbuka volume kerja 5 liter yang dilengkapi aerator. Aerator berfungsi untuk menjamin pasokan CO₂ dalam media, mencegah pengendapan sel supaya mikroalga tetap tersuspensi dan menstabilkan pH dalam media.

Pembiakan kultur dilakukan secara bertahap dari volume kecil ke volume yang lebih besar (Amini dan Susilowati, 2010). Kultur awal dikultivasikan secara *indoor* pada media air laut dengan memasukkan 1/3 bagian bibit mikroalga ke dalam erlenmeyer dengan volume media kultur 100–300 mL. Selanjutnya apabila kepadatan mikroalga telah mencapai maksimal, kultur dapat dipindahkan dalam media dengan volume lebih besar (500–1000 mL). Setelah satu minggu kultur dapat dipindahkan ke volume yang lebih besar lagi (6000 mL).

3.4.2. Kultivasi dan Pemanenan Mikroalga

Kultivasi mikroalga yang dilakukan dalam media limbah cair karet menggunakan metode Karawoe *et al* (2012) dengan sistem reaktor terbuka (*Open pond system*). Bibit mikroalga sebanyak 25% v/v (1250 mL) dimasukan dalam media limbah cair karet sebanyak 3250 mL lalu dikultivasikan selama 7 hari dengan pengukuran kepadatan sel setiap hari. Setelah 7 hari kultivasi, mikroalga dipanen untuk menghasilkan biomassa basah maupun kering. Pemanenan dilakukan dengan cara flokulasi menggunakan NaOH (1 L mikroalga: 0,2 mL NaOH). Setelah terjadi pengendapan dilakukan proses filtrasi atau penyaringan menggunakan dua lapis kain satin selama beberapa jam. Setelah semuanya tertampung dalam kain satin, hasil panen dikeringkan menggunakan oven untuk menghilangkan sebagian kandungan air yang tersisa. Selanjutnya *yield* ditimbang menggunakan neraca analitik (Kawaroe *et al.*, 2012).

3.5. Pengamatan

3.5.1. Kepadatan Sel (Amini dan Susilowati, 2010)

Pengamatan kepadatan sel mikroalga dilakukan setiap hari pada saat kultivasi dengan metode numerik untuk menghitung jumlah sel mikroalga. Alat yang digunakan untuk menghitung kepadatan sel adalah Mikroskop, *haemocytometer* tipe *Neubauer Improved*, *sedgwick rafter* dan *hand counter*. Kepadatan sel *Dunaliella* sp. dan *Tetraselmis* sp. dihitung menggunakan *haemocytometer*. *Hemocytometer* dipasang pada *cover glass* kemudian sampel ditetaskan pada bagian parit yang melintang hingga penuh. Selanjutnya *hemacytometer* diamati di bawah mikroskop dan dilakukan perhitungan jumlah sel pada setiap bidang kotak dengan bantuan *hand counter*. Pada setiap penghitungan dilakukan dua kali penghitungan dan jumlah tertinggi yang dijadikan data jumlah sel terhitung. Kepadatan *Dunaliella* sp. dan *Tetraselmis* sp. dihitung dengan rumus: Jumlah sel $\times 10^4$ sel/mL (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995). Sedangkan Kepadatan sel *Spirulina* sp. dihitung menggunakan *sedgwick rafter* dengan cara mengambil 1 ml sampel, kemudian ditutup dengan gelas penutup. Penghitungan dilakukan dengan menghitung jumlah unit yang terdapat dalam *sedgwick rafter* dibawah mikroskop dengan bantuan *hand counter*. Pada setiap penghitungan dilakukan dua kali penghitungan dan jumlah tertinggi yang dijadikan data jumlah sel terhitung. Kepadatan *Spirulina* sp. dihitung dengan rumus: Jumlah sel $\times 10^3$ unit/mL.

3.5.2. Salinitas (Refraktometer)

Salinitas merupakan konsentrasi garam yang terlarut dalam volume air tertentu. Pengukuran salinitas dilakukan dengan meneteskan sampel pada bagian kaca

prisma alat *hand refraktometer* yang sebelumnya sudah dikalibrasi dengan menggunakan aquabides steril. Nilai salinitas sampel dapat dilihat pada garis batas antara biru dan putih.

3.5.3. Nitrogen Ammonia (N-NH₃) (SNI, 2003)

Analisis Nitrogen Ammonia dilakukan di tahap awal sebelum kultivasi dan di tahap akhir setelah kultivasi. Sampel limbah cair karet yang akan dianalisis kadar Nitrogen Ammonia disaring terlebih dahulu, kemudian dimasukkan sebanyak 25 ml ke dalam labu erlenmeyer 100 ml. Ditambahkan 1 ml larutan fenol, 1 ml larutan Natrium nitroprusid dan 2,5 ml larutan oksidator. Dikocok dan diamkan selama 10 menit untuk membentuk reaksi kompleks. Diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 640 nm. Dicatat konsentrasi hasil pengukuran.

3.5.4. Ortophospat (P-PO₄) (SNI, 2005)

Analisis P-PO₄ dilakukan di tahap awal sebelum kultivasi dan di tahap akhir setelah kultivasi. menggunakan metode Pereaksi P pekat (larutan ammonium molibdat). Sampel limbah cair karet sebanyak 25 mL yang telah disaring dengan kertas *Whatman* no 42 dimasukkan ke dalam beakerglass 50 mL. Kemudian ditambahkan 1 mL larutan ammonium molibdat dan 5 tetes larutan SnCl₂. Dikocok dan didiamkan selama 10 menit. Kemudian diukur dengan alat *spektrophotometer* pada panjang gelombang 690 nm.

3.5.5. Derajat Keasaman (pH) (SNI, 2004)

Analisis pH dilakukan di tahap awal sebelum kultivasi dan di tahap akhir setelah kultivasi. Alat yang digunakan adalah pH meter. pH meter dikalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan, setelah itu elektroda dimasukkan ke dalam limbah cair untuk diukur. Setelah angka pada pH meter tersebut stabil, catat hasil pengukuran pH.

3.5.6. Dissolved Oxygen (DO) (SNI, 2004)

Analisis DO dilakukan di tahap awal sebelum kultivasi dan di tahap akhir setelah kultivasi. Alat yang digunakan untuk analisis *Dissolved Oxygen* adalah DO meter. Pengukuran oksigen terlarut dilakukan secara elektrokimia. Prinsip kerja DO meter menggunakan probe oksigen yang terdiri dari katoda dan anoda yang direndam dalam larutan elektrolit. Pengukuran DO dilakukan dengan mencelupkan alat DO meter tersebut ke dalam sampel air yang diukur dan catat hasil pengukuran.

3.5.7. Biomassa

Analisis biomassa dilakukan setelah mikroalga dipanen dengan menghitung berat basah dan berat kering dari mikroalga. Berat basah mikroalga diukur dengan menimbang berat masing-masing setelah dilakukan filtrasi. Berat kering mikroalga diukur dengan metode gravimetri. Cawan porselen ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui berat dari cawan porselen sebelum ditambah mikroalga. Setelah itu cawan porselen dimasukan mikroalga kemudian ditimbang kembali. Cawan porselen yang berisi mikroalga dimasukkan ke dalam oven dengan suhu

105°C selama lebih kurang dua jam. Setelah dua jam, alga dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit. Setelah dari desikator, alga pada cawan porselen ditimbang hingga diperoleh berat konstan.

3.5.8. Kadar Protein (AOAC, 1995)

Sampel ditimbang 1 g, dimasukkan dalam labu kjeldahl. Kemudian ditambahkan 7,5 g kalium sulfat dan 0,35 g raksa (II) oksida dan 15 ml asam sulfat pekat. Dipanaskan semua bahan dalam labu Kjeldahl dalam lemari asam sampai berhenti berasap dan pemanasan dilanjutkan sampai mendidih dan cairan sudah menjadi jernih. Dilakukan pemanasan kurang lebih 30 menit, pemanas dimatikan dan dibiarkan sampai dingin. Selanjutnya ditambahkan 100 ml aquadest dalam labu Kjeldahl yang didinginkan dalam air es dan beberapa lempeng Zn, ditambahkan 15 ml larutan kalium sulfat 4% (dalam air) dan ditambahkan perlahan-lahan larutan natrium hidroksida 50% sebanyak 50 ml yang telah didinginkan dalam lemari es. Labu kjeldahl dipasang dengan segera pada alat destilasi. Labu kjeldahl dipanaskan perlahan-lahan sampai dua lapis cairan tercampur, kemudian dipanaskan dengan cepat sampai mendidih. Destilat ditampung dalam erlenmeyer yang telah diisi dengan larutan baku asam klorida 0,1N sebanyak 50 ml dan indikator merah metil 0,1% b/v (dalam etanol 95%) sebanyak 5 tetes, ujung pipa kaca destilator dipastikan masuk ke dalam larutan asam klorida 0,1N. Proses destilasi selesai jika destilat yang ditampung lebih kurang 75 ml. Sisa larutan asam klorida 0,1N yang tidak bereaksi dengan destilat dititrasi dengan larutan baku natrium hidroksida 0,1N. Titik akhir titrasi tercapai jika terjadi perubahan warna larutan dari merah menjadi kuning. Kemudian dilakukan titrasi blanko.

Kadar protein dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Kadar} = \frac{V \text{ NaOH blanko} - V \text{ NaOH sampel}}{\text{berat sampel (mg)}} \times N \text{ NaOH} \times 14,008 \times 100\% \times Fk$$

Keterangan :

Fk : faktor koreksi

Fk N : 16

V. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan, sebagai berikut:

1. Jenis mikroalga berprotein tinggi yang mampu beradaptasi pada media Limbah Cair Industri Karet Remah adalah *Spirulina* sp. dengan menghasilkan biomassa tertinggi dan kadar protein sebesar 1,7282 g/L dan 12,13% pada kepadatan sel 3878×10^4 sel/mL,
2. Jenis mikroalga yang paling berpotensi dalam mereduksi cemaran pada limbah cair industri karet remah adalah *Spirulina* sp. dengan penurunan beban cemaran N-NH₃ sebesar 94% dan P-PO₄ sebesar 71%

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, perlu dilakukan teknik pemanenan yang tepat khususnya jenis mikroalga *Dunaliella* sp. untuk mengurangi kehilangan biomassa yang cukup besar. Selain itu, disarankan untuk melakukan optimasi terhadap media tumbuh *Spirulina* sp. dan *Dunaliella* sp. dengan pengaturan kandungan nitrogen dan salinitas pada media sehingga menghasilkan kadar protein yang lebih tinggi, serta analisis proksimat terhadap biomassa.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrachman, Okryreza, M. Mutiara, L. Buchori. 2013. Peningkatan Karbondioksida dengan Mikroalga (*Chlorella vulgaris*, *Chlamydomonas* sp., *Spirulina* sp.) Dalam Upaya Untuk Meningkatkan Kemurnian Biogas. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Vol 2. No. 4
- Amini, S dan R, Susilowati. 2010. Produksi biodiesel dari mikroalga *Botryococcus braunii*. *Squalen* Vol. 5 (1): 23-30.
- Angka, S.L. dan Suhartono M. T. 2000. *Bioteknologi Hasil Laut* . Pusat Kajian Sumber Daya Pesisir dan laut. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- AOAC. 1995. *Official Methods of analysis*. Arlington, Inc. New York
- APHA. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. Washington DC. 1200 hlm.
- Asmara, A. 2005. Hubungan Struktur Komunitas Plankton dengan Faktor Fisik Kimia Perairan Pulau Pramuka dan Pulau Panggang Kepulauan Seribu (Skripsi). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Babadzhanov, A.S., N. Abdusamatova, F.M. Yusupova, N. Fayzullavea., N.G. Mezhlumyan dan M.K., Mailkova. 2004. Chemical Composition of *S. platensis* Cultivated in Uzbekistan. *Chem. of Nat. Comp.*. 40, 3:276-279.
- Badan Standardisasi Nasional. 2003. Cara Uji Amonia (NH₃-N) dengan Biru Indofenol Secara Spektrofotometri SNI 19-6964.3-2003. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. Cara Uji Derajat Keasaman Menggunakan Alat pH Meter SNI 06-6989.11-2004. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. Cara Uji Oksigen Terlarut secara Yodometri SNI 06-6989.14-2004. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta. Badan Standardisasi Nasional. 2005. Cara Uji Kadar Fosfat Dengan Spektrofotometer Secara Asam Askorbat SNI 06-6989.31-2005. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

- Becker, E.W., 2007, Micro-algae as source of protein. *Biotechnology Advances* .Vol. 25:207-210.
- Benemann, G. 1997, Characterization of Marine Microalga for Biofuel Production, *Journal of Biotechnology*, 31, pp. 1367-1372.
- Biondi and Tredici.2011. Algae and Aquatic Biomass for a Sustainable Production of 2nd Generation Biofuels. UNIFI. 148 – 150.
- Bjornstad, J. M. 2005. A Dynamical Systems Approach to Modeling Plankton Food Web, Department of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology.
- Bold, H.C. and Michael, J. Wyne. 1985. *Introduction to the algae structure and reproduction, Second Edition*. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs. New Jersey
- Borowitzka, A.M. and L.J. Borowitzka. 1988. *Microalgae Biotechnology*. Cambridge University Press. Australia. 488 pp.
- Borowitzka, M.A. 1988. Algal Growth Media And Sources Of Algal Cultures. In : Borowitzka, M.A & L.J Borowitzka (Eds) *Microalga Biotechnology*. Cambridge University Press: Cambridge. pp. 456-465.
- Boyd, C.E. 1990. *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Birmingham Publishing Company. Alabama. 482 pp.
- Butcher, R. W. 1959. An Introductory Account of the Smaller Algae of British Coastal Waters, Part 1 Introduction and Chlorophyceae, Fishery Investigation Series IV. HMSO. London..
- Chisti, J. 2007. Biodiesel from microalgae”, *Biotechnology Advances*. 25. hal 294–306
- Dallaire, B., Bernet, N., and Bernard, O., (2007), Anaerobic Digestion of Microalgae as a Necessary Step to Make Microalgae Biodiesel Sustainable, *Journal of Biotechnology Advances*, 27, pp. 409-416.
- Darsi, Radyanti, A. Supriadi dan A.D. Sasanti. 2012. Karakteristik Kimiawi dan Potensi Pemanfaatan *Dunaliella salina* dan *Nannochloropsis* sp. Teknologi Hasil Perikanan Universitas Sriwijaya. Vol 1. No. 1
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Cetakan Kelima. Yogyakarta : Kanisius.
- Eykelenburg, V.C. 1977. *On the morphology and ultrastructure of the cell wall of Spirulina platensis*. *Journal Microbiology*. Serol. 43:89-99.
- Fogg, G. E dan B. Thake. 1987. *Algal Cultures and Phytoplankton Ecology*, 3rd ed., The University of Wisconsin Press, Wisconsin.

- Hadiyanto dan Marcelinus Christwardana. 2012. Aplikasi Fitoremediasi Limbah Jamu Dan Pemanfaatannya Untuk Produksi Protein. Jurnal Ilmu Lingkungan. Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana UNDIP. Volume 10, Issue 1: 32-37 (2012)
- Handayani, Noer Abyor dan D.Ariyanti. 2012. Potensi Mikroalga Sebagai Sumber Biomasa dan Pengembangan Produk Turunannya. Universitas Diponegoro. Semarang Vol. 33 No.2 Tahun 2012, ISSN 0852-1697
- Harun, R., Singh, M., Forde, G.M., dan Danquah, M.K. 2010. Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, hal 1037–1047.
- Hasanah, Uswatun. 2011. Mikrobiologi Makanan, FMIPA UNIMED, Medan.
- Hoshida, H., Ohira, T., Minematsu, A., Akada, R., and Nishizawa, Y., (2005), Accumulation of Eicosapentaenoic Acid in *Nannochloropsis* sp. in Response to Elevated CO₂ Concentrations, *Applied Phycology*, 17, pp. 29-34.
- Isnansetyo, A. dan Kurniastuty. 1995. Teknik Kultur Fitoplankton dan Zooplankton : Pakan Alami untuk Pembenihan Organisme Laut, Kanisius: Yogyakarta
- John, R.P., Anisha, G.S., Nampoothiri, K.M., dan Pandey, A., (2011), “Micro and macroalgal biomass: A renewable source for bioethanol”, *Bioresource Technology*, 102, hal. 186–193.
- Kawaroe, M. T. Prariono, A. Sunuddin, D.W. Sari, dan Augustine, D. 2010. Mikroalga : Potensi dan Pemanfaatannya untuk Produksi Bio Bahan Bakar. Penerbit Institut Pertanian Bogor Press. Bogor
- Kingfisher, V. Vishnu, Priyadarshini dan H. Hilbert. 2011. *Environmental Issues Caused By Rubber Industry*. IMK Senate House Campus, Palayam.
- Komalasari, A. 2015. Studi penentuan jenis outlet limbah cair karet remah untuk pertumbuhan mikroalga dengan sistem open ponds. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung. 62 hlm.
- Laura, B dan Paolo G. 2006. *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*. CRC Press, Boca Raton New York.
- Lowry HO, Rosenbrough, NJ, Farr AL, Randall RJ. 1951. Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent. *Journal of Biology and Chemistry*. 193:265-275.
- Maharsyah, T. 2013. Efektivitas penambahan plant-growth promoting bacteria *Azospirillum* sp. dalam meningkatkan pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp. pada media limbah cair tahu setelah proses anaerob. (Skripsi). Universitas Brawijaya. Malang.

- Mara, D.D., S.W., Mills, H.W., Pearson dan G.P., Alabaster. 1992. Waste Stabilization Pond: Viable Alternative for Small Community Treatment Systems. *J. Inst. Environ. Manag.* 6(1):72-78.
- Mohanty P, Srivastava M., Krishna K.B. 1997. *The Photosynthetic Apparatus of Spirulina: Electron Transport and Energy Transfer*. di dalam Vonshak, A. (ed.), *Spirulina pletensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology*. Bristol: Taylor & Francis Ltd. 1-15 hlm.
- Nybakken, J. W. 1988. *Biologi Laut, Suatu Pendekatan Ekologi*. Alih bahasa oleh M. Eidman, Koesoebiono, D. G. Bengen, M. Hutomo, dan S. Sukarjo. Gramedia. Jakarta. 459 hlm
- Nybakken, J. W. 1998. *Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologi*. Gramedia. Jakarta.
- Olaizola, M, Bridges, T., Flores, S., Griswold, L., Morency, J., and Nakamura, T., (2004), Microalga Removal of CO₂ from Flue Gases : CO₂ Capture from a Coal Combuster, *Biotech. Bioproc. Eng.*, 8, pp. 360- 367.
- Potvin, G., Zhang, Z. 2010. Strategies for High Level Recombinant Protein Expression In Transgenic Microalgae: A Review. *Biotechnology Advance*, Vol. 28: 910-918.
- Prakash, S., Bhimba, B.V., 2004, Pharmaceutical development of novel microalgael comounds for Mdr Mycobacterium tuberculosis. *Natural product radiance*, Vol. 4 (4): 264-269.
- Pratama. A. Ivan. 2016. Kajian Produksi Biomassa *Tetraselmis* sp. pada Media Limbah Cair Industri Karet Remah yang Diperkaya Nitrogen dan Diatur Salinitasnya. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Prihantini, Nining Betawi. 2007. Pengaruh Konsentrasi Medium Ekstrak Tauge (MET) Terhadap Pertumbuhan Scenedesmus Isolat Subang. *Makara Sains* Vol. 11 No. 1. 1hlm.
- Rahman, Miftahur Dan A. Setiyawan. 2014. Pengujian Kandungan Protein Mikroalga *Spirulina* Sp. Dalam Media Pupuk. FMIPA Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Redjeki, S. dan A. Ismail. 1993. Mikroalga Sebagai Langkah Awal Budidaya Ikan Laut. Dalam Prosiding Seminar Nasional Bioteknologi Mikroalga. Pusat Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi LIPI.
- Richmond, A. and Emeritus. 2013. *Handbook of Microalgal Culture Applied Phycology and Biotechnology*. Wiley-Blackwell
- Richmond, A.E. 1986. *Microalgae Culture*. CRC Critical Rev.in Biotech
- Rostini, Iis. 2007. Kultur fitoplankton *Chlorella* sp. dan *Tetraselmis chuii* Skala Laboratorium. *Karya Ilmiah*. Universitas Padjajaran. Jatinangor 33 hlm

- Ru'yatin, I.S. Rohyani, dan L. Ali. 2015. Pertumbuhan *Tetraselmis* dan *Nannochloropsis* pada skala laboratorium. *Prosiding Seminar Nasional.1* (2): 296-299.
- Santosa, Venny dan Leenawaty Limantara. 2007. *Majalah Biologi Populer. Pascasarjana Magister Biologi Universitas Kristen Satya Wacana Vol. 1, No. 2 (2007)*
- Sciento. 2008. *A583 Spirulina plantesis Large Spiral*. www.sciento.co.uk. Diakses pada tanggal 20 Maret 2016.
- Siregar, Angelina Ferawaty; Sabdon, Agus dan Pringgenies, Delianis. 2012. Potensi Antibakteri Ekstrak Rumput Laut Terhadap Bakteri Penyakit Kulit *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus epidermidis*, dan *Micrococcus Luteus*. *Journal Of Marine Research*. Vol 1 No. 2: 152-160 hlm
- Sriharti. 2004. Pengaruh species *Clorella* dalam menetralsir limbah cair karet. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2004*. ISSN : 1411 – 4216 hlm.
- Suharyanto, T. Panji, S. Permatasari dan K. Syamsu. 2014. Produksi *Spirulina plantesis* dalam Fotobioreaktor Kontinyu menggunakan Media Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Teknologi Industri Pertanian IPB, Bogor*.
- Sulastri, 2002. Komposisi, kelimpahan dan distribusi fitoplankton sebagai dasar analisis kondisi pencemaran Danau Maninjau, Sumatera Barat. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2002*. Puslit Limnologi – LIPI. Hal. 255-271.
- Suminto. 2009. Penggunaan Jenis Media Kultur Teknis Terhadap Produksi dan Kandungan Nutrisi sel *Spirulina plantesis*. *Jurnal Saintek Perikanan*. Vol. 4. (2):53-61
- Suryajaya, I.M.A dan F.Y.A, Sari. 2012. Kultivasi Mikroalga *Spirulina platensis* dalam Media POME dengan Variasi Konsentrasi POME dan Komposisi Jumlah Nutrien. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Universitas Diponegoro. Vol 1 No 1(2012): 487-494.
- Sutomo. 2005. Kultur tiga jenis mikroalga (*Tetraselmis sp.*, *Chlorella sp.*, dan *Chaetoceros gracillis*) dan pengaruh kepadatan awal terhadap pertumbuhan *Chaetoceros gracillis* di laboratorium. *Oseanologi dan limnologi di Indonesia*.(37): 43-58.
- Suwardin, D. 1989. Tehnik pengendalian limbah pabrik karet. *Lateks* 4 (2): 25-32.
- Sylvester B. D., D. Nelvy dan Sudjiharno, 2002. dalam Seri Budidaya Laut No. 9. Budidaya Fitoplankton dan Zooplankton. Balai Budidaya Laut Lampung. Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya. Depertemen Kelautan dan Perikanan 24-36 hlm.

- Tanto, W. 2003. Kajian Proses Penyisihan Nutrien Dari Limbah Cair Pabrik Karet Menggunakan Reaktor Tiga Tahap. *Jurnal Manajemen dan Kualitas Lingkungan*.
- Taw. 1990. *Petunjuk Kultur Murni dan Massal Mikroalga*. UNDP. FAO.
- Tietze, K.J., 2004, *Clinical Skills for Pharmacists A Patient-Focused Approach*, 2nd edition, Mosby, St. Louis.
- Tjahjo, L., Erawati dan Hanung. 2002. *Biologi Fitoplankton dalam Budidaya Fitoplankton dan Zooplankton*. Balai Budidaya Laut Lampung Dirjen Perikanan Budidaya DKP. Lampung.
- Utomo TP, Hasanudin U, & Suroso E. 2012. *Agroindustri Karet Indonesia: Petani Karet dan Kelembagaan, Proses Pengolahan dan Kinerjanya, Selayang Pandang Karet Sintetis*. PT Sarana Tutorial Nurani Sejahtera. Bandung. 228 hlm.
- Wardhana, W.A. 1994. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Andi Offset. Yogyakarta. 459 hlm.
- Weldy, C.S, dan M.Huesemann. 2007. Lipid by *D. salina* in Batch Culture: effects of Nitrogen Limitation and Light Intensity. *Journal of Undergraduate Research. Department of Energy*. Vol 7 Issues 7. 115-120 Pp
- Wijanarko, A., Hermansyah, H., Gozan, M., and Witarto, B.A., (2007), Pengaruh Pencahayaan Siklus Harian Terhadap Produksi Biomassa *Chlorella vulgaris* Buitenzorg Dalam Fotobioreaktor Kolom Gelembung, *Jurnal Teknologi*, 1, pp. 58-65.
- Wilujeng, S.A. dan Pandebesie, E. 2005. Penurunan Kandungan Nitrat dan Fosfat Oleh Algae Hijau (*Chlorella* sp.). *Jurnal Purifikasi*. Vol.6, 97-102 hlm.
- Wulan, R. Rayung. 2015. Kemampuan Mikroalga yang Dikultivasi Pada Limbah Cair Industri Karet Remah dalam Menghasilkan Biomassa dan Menurunkan Cemar (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Yudha, A. Parna. 2008. Senyawa Antibakteri Dari Mikroalga *Dunaliella* sp. Pada Umur Panen Yang Berbeda. (Skripsi). Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan IPB. Bogor.
- Yudiati, E., S. Sedjati, dan R. Agustian. 2011. Aktivitas Antioksidan Dan Toksisitas Ekstrak Methanol dan Pigmen Kasar Spirulina sp. *Ilmu Kelautan*, 16(4):187-192.
- Yulita, Eli. 2014. Pemanfaatan Limbah Cair Industri Karet Remah Sebagai Media Pertumbuhan *Chlorella Vulgaris* Untuk Pakan Alami Ikan. Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri* Vol. 25 No. 1 Tahun 2014

Zulfarina, Sayuti I, & Putri HT. 2013. Potential utilization of algae *Chlorella pyrenoidosa* for rubber waste management. Prosiding Semirata FMIPA. Universitas Riau. Riau. 511-520.