

POTENSI AIR DADIH (*WHEY*) TAHU SEBAGAI NUTRIEN DALAM KULTIVASI *Chlorella sp.* UNTUK BAHAN BAKU PEMBUATAN BIODISEL

Dhika Joko Arinto, Hayu Pradipta Paramastri, Danny Soetrinanto^{*)}

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

Abstrak

Peningkatan pertumbuhan penduduk dan kebutuhan energi menyebabkan terjadinya peningkatan konsumsi BBM, sehingga dibutuhkannya bahan bakar alternatif yaitu biodiesel. Pengembangan biodiesel sebagai salah satu energi terbarukan salah satunya dengan menggunakan bahan baku berupa mikroalga yaitu *Chlorella sp.* yang memiliki potensi kandungan lemak sebanyak 28-32%. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perbedaan konsentrasi, waktu pertumbuhan terhadap biomassa, dan waktu pertumbuhan terhadap kandungan lipid dengan membandingkan penambahan nutrisi sintetis dengan air dadih (*whey*) tahu (5%V, 10%V, 15%V, 20%V, dan 25%V). Kultivasi *Chlorella sp.* dengan menggunakan nutrisi sintetis pertumbuhan optimal terjadi pada hari ke-9 dengan Optical Density (OD) 0,487, jumlah biomassa kering 2,0818 gram/liter, dan kandungan lipid sebesar 0,493 gram/liter. Sedangkan kultivasi *Chlorella sp.* dengan penambahan air dadih (*whey*) tahu (5%V, 10%V, 15%V, 20%V, dan 25%V) didapatkan hasil laju pertumbuhan *Chlorella sp.* paling baik terjadi pada saat penambahan 20% volume pada hari ke-9 dengan optical density (OD) 0,486. Sedangkan kandungan biomassa dan lipid paling baik terjadi pada penambahan 25% volume pada hari ke-9, yaitu kandungan biomassa sebesar 4,2125 gram/liter dan kandungan lipid sebesar 1,081 gram/liter. Kultivasi *Chlorella sp.* menggunakan air dadih (*whey*) tahu dengan konsentrasi 25% volume lebih baik daripada menggunakan nutrisi sintetis. Penurunan COD maksimum pada konsentrasi penambahan air dadih (*whey*) tahu sebesar 15% dengan efisiensi penurunan 77,01%, sedangkan pada konsentrasi penambahan air dadih (*whey*) tahu optimum (25% volume) efisiensi penurunan sebesar 64,28%. Pada sentra industri tahu Jombang dengan kebutuhan bahan baku kedelai sebesar 7 kwintal per hari dapat dihasilkan lipid sebagai bahan baku biodiesel sebesar 0,188 kg per harinya.

Kata kunci : Biodiesel; *Chlorella sp.*; air dadih (*whey*); biomassa; densitas optik

Abstract

An increase of population growth and energy demand has lead to a foster fuel consumption, therefore an alternative fuel is necessarily needed for a solution to solve the problem. Currently, one of the most popular solution offered is biodiesel. The development of biodiesel as renewable energy is done by using microalgae such as *Chlorella sp.* with 28-32% lipid content as its raw material. The objective of this research is to find out the effect of various concentration, biomass based on growth time, and lipid content based on growth time result by comparing it to the addition of synthetic nutrients and whey (5%, 10%, 15%, 20%, and 25% Total Volume). The optimal growth on cultivation of *Chlorella sp.* with the addition of synthetic nutrients occurs in day 9 with 0,487 Optical Density (OD), 2,0818 grams/litre of dry biomass, and 0,493 grams/liter of lipid. While for *Chlorella sp.* cultivation with the addition of tofu waste water (*whey*) has its optimum condition for Optical Density occurs in day 9 of 20%V whey addition which is 0,486. Also observed in day 9, the optimum condition for dry biomass and lipid of 25%V whey addition is 4,2125 grams/litre and 1,081 grams/litre. *Chlorella sp.* cultivation using 25%V whey addition produced better result comparing to cultivation by using synthetic nutrient. The maximum COD reduction occurs in 15%V whey addition with 77,01% reduction efficiency, while on the other hand, with the addition of whey in its optimum variable (25%V) resulting a decrease of efficiency by 64,28%. Based on tofu industrial center located in Jombang, with 7 quintals per day of soybean as raw material, it can produce lipid for biodiesel feedstock amounted up to 0,188 kg per day.

Key words : Biodiesel; *Chlorella sp.*; whey; biomass; optical density

1. Pendahuluan

Seiring dengan laju pertumbuhan jumlah penduduk, peningkatan kebutuhan energi, serta kemajuan ekonomi nasional, konsumsi BBM semakin meningkat. Sejak 2003, Indonesia mulai mengalami defisit minyak, yaitu tingkat konsumsi terhadap BBM melampaui tingkat produksi. Tahun berikutnya, defisit BBM ini tidak dapat ditutupi lagi dari cadangan nasional, sehingga untuk pertama kalinya pula Indonesia harus menutupi kekurangan dengan mengimpor minyak dari luar negeri. Tingkat konsumsi terhadap minyak rata-rata naik 6 % pertahun. Konsumsi terbesar adalah minyak diesel (solar) yang mencapai 22 juta kiloliter pada tahun 2002 (Orchidea, 2010). Oleh karena itu, untuk memenuhi tingkat konsumsi terhadap bahan bakar minyak dan mendorong pengembangan serta pemanfaatan energi alternatif terbarukan, digunakan Bahan Bakar Nabati (BBN) yang berupa biodiesel dan bioetanol.

Konsep pemilihan bahan baku untuk pembuatan biodiesel ditujukan untuk memenuhi kekurangan bahan baku yang ada. Mikroalga dicoba untuk dikembangkan sebagai salah satu alternatif bahan baku pembuatan biodiesel mengingat mikroalga adalah salah satu potensi alam Indonesia. Mikroalga mengandung minyak nabati yang sangat tinggi, Kandungan minyak nabati yang tinggi mengidentifikasi tingginya kandungan asam lemak dalam alga. Semakin banyak kandungan asam lemak dalam suatu bahan maka semakin besar pula potensi bahan tersebut untuk dapat menghasilkan biodiesel (Orchidea, 2010).

Mikroalga dapat hidup hampir di semua tempat yang memiliki cukup sinar matahari, air dan CO₂. Diperkirakan mikroalga mampu menghasilkan minyak 200 kali lebih banyak dibandingkan dengan tumbuh-tumbuhan penghasil minyak (kelapa sawit, jarak pagar, dll) pada kondisi terbaiknya. Semua jenis alga memiliki komposisi kimia sel yang terdiri dari protein, karbohidrat, asam lemak dan asam nukleat. Komponen asam lemak inilah yang akan diekstraksi dan diubah menjadi biodiesel (Orchidea, 2010).

Ada berbagai macam jenis mikroalga yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan biodiesel, salah satunya adalah *Chlorella sp.* Mikroalga *Chlorella sp.* mempunyai kandungan lemak 28%-32% (Hadiyanto, 2011), kandungan lemak ini yang nanti dimanfaatkan dalam pembuatan biodiesel. *Chlorella sp.* dipilih untuk digunakan dalam penelitian ini karena jenis ini mudah tumbuh dan telah dibudidayakan di Indonesia.

Limbah cair tahu merupakan limbah organik yang berasal dari industri tahu yang belum layak dibuang ke lingkungan. Jika limbah cair industri tahu tersebut dibuang langsung ke lingkungan tanpa proses pengolahan, akan terjadi pengendapan zat-zat organik pada badan perairan, proses pembusukan dan berkembangnya mikroorganisme patogen (Sudaryati dkk., 2007). Limbah cair ini berupa cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut air dadih (*whey*). Menurut data dari Kementerian Pertanian, Mahfudin, kebutuhan kedelai per tahun untuk industri tahu di seluruh Indonesia adalah 450 ribu ton, sehingga dapat dihasilkan air dadih (*whey*) tahu sebanyak 19.575.000 ton per tahun atau 54.375 ton per hari. Air dadih (*whey*) mempunyai kandungan air (98,87%), karbohidrat (0,11%), protein (0,42%), lemak (0,13%), dan COD (Fatha, 2007).

Dalam penelitian ini, potensi kandungan nutrisi tersebut akan digunakan sebagai media perkembangbiakan *Chlorella sp.* Penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui perbedaan pengaruh penambahan nutrisi sintetis dengan penambahan air dadih (*whey*) tahu terhadap laju pertumbuhan *Chlorella sp.*, mengetahui perbedaan pengaruh penambahan nutrisi sintetis dengan penambahan air dadih (*whey*) tahu terhadap konsentrasi *Chlorella sp.* dan kadar lipid pada biomassa, mengetahui karakteristik air dadih (*whey*) tahu setelah digunakan sebagai media pertumbuhan *Chlorella sp.* dan mengetahui efisiensi penggunaan air dadih (*whey*) tahu sebagai media kultivasi *Chlorella sp.*

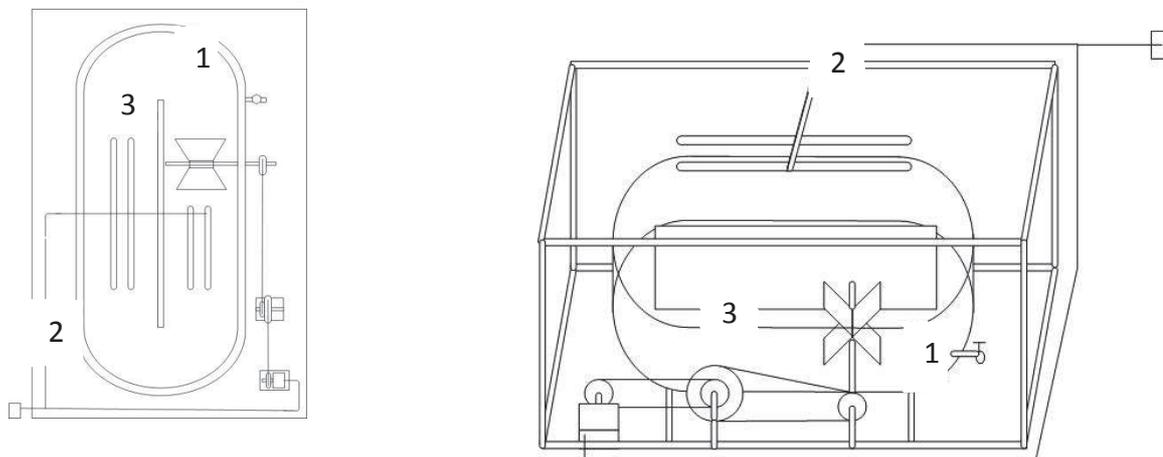
2. Metode Penelitian

Bahan

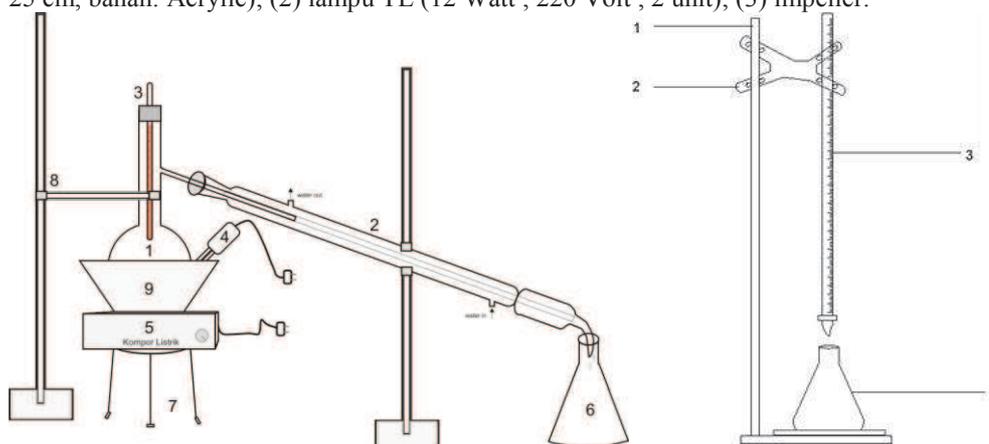
Bahan yang digunakan antara lain *Chlorella sp.* dari stock kultur bibit BBPBAP, air dadih (*whey*) tahu, nutrisi CO(NH₂)₂, TSP, ZA, NaHCO₃, FeCl₃, air keran, kertas saring, NaOH dan Solvent n-heksana.

Alat

Alat yang digunakan antara lain Bak kultivasi, pompa vakum, lampu TL, spektrofotometer, cuvet, pipet, oven, gelas ukur, labu Erlenmeyer, beaker glass, timbangan digital, ultrasound, kertas saring, buret, statif dan klem, kompor listrik dan alat distilasi.



Gambar 1. Rangkaian alat kultivasi *Chlorella sp.*: bak kultivasi *Chlorella sp.* (dimensi: 80 cm x 40 cm x 25 cm, bahan: Acrylic); (2) lampu TL (12 Watt ; 220 Volt ; 2 unit); (3) impeller.



Gambar 2. Rangkaian alat distilasi: (1) Labu distilasi; (2) pendingin leibig; (3) thermometer; (4) pemanas listrik; (5) kompor listrik; (6) labu erlemeyer; (7) kaki tiga; (8) statif dan klem

Gambar 3. Rangkaian alat titrasi: (1) statif; (2) klem; (3) buret; (4) labu Erlenmeyer

Prosedur Penelitian

Kultivasi *Chlorella sp.*:

Rangkaian alat kultivasi dirangkai sesuai susunan. Bak kultivasi diisi dengan medium air dadih (*whey*) tahu dengan variabel penambahan air dadih (*whey*) tahu sebesar 0 % (media kontrol), 5 %, 10 %, 15 %, 20 % dan 25 % volume kultivasi. Media kontrol ini menggunakan nutrisi sintesis 10 gram garam halus, 40 ppm urea, 10 ppm ZA, 20 ppm TSP, 1 ppm FeCl₃, 75 ppm soda kue, dan 25 µg Bcomplex. Bak kultivasi diisi dengan 20 % volume kultivasi kultur *Chlorella sp.*. Operasi kultur *Chlorella sp.* dilakukan dengan volume kultivasi 32 liter pada suhu 30°C dan pH 6-7. Diambil sampel dari bak kultivasi *Chlorella sp.* untuk dianalisis *optical density* (OD), laju pertumbuhan biomassa dan kadar lipid pada hari ke-3, ke-5, ke-7, ke-9 dan ke-11.

Analisa Hasil:

Analisis yang dilakukan ada tiga yaitu optical density (OD), laju pertumbuhan *Chlorella sp.* dan kadar minyak:

1. Uji Densitas Optik:

Kalibrasi Spektrofotometer

Analisis densitas optik (DO) menggunakan alat Spektrofotometer. Spektrofotometer adalah alat untuk mengukur transmittan atau absorban suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Pada penelitian ini akan digunakan $\lambda = 680 \text{ nm}$. Prosedur yang dilakukan yaitu menghubungkan Spektrofotometer sp-300 dengan sumber listrik, menyalakan Spektrofotometer sp-300 dan menunggu tunggu selama 5 – 10 menit, menekan tombol %T, atur skala sampai pembacaan absorban tak terhingga (transmittan = 0), memasukkan pelarut murni aquadest dalam cuvet dan menempatkan ke dalam tempat cuvet. Dan menekan tombol 100%T sampai skala menunjukkan absorbansi = 0 (transmittan = 100 %).

Pengukuran Optical Density

10 ml sampel kultivasi diambil dengan pipet, kemudian sampel dipindahkan dalam cuvet. Cuvet yang berisi sampel dimasukkan ke dalam tempat cuvet. Absorbans diukur pada $\lambda = 680 \text{ nm}$. %T yang muncul pada layar %T kemudian dicatat.

2. Analisa Laju Pertumbuhan Biomassa

Pertumbuhan *Chlorella sp.* ditentukan dengan optical density (OD) pada panjang gelombang (λ) 680 nm (Sim, 2001). Terdapat hubungan langsung antara optical density (OD) dengan biomassa kering. Hubungan ini didapat dengan penelitian yang dilakukan pada media kontrol. Hubungan optical density dan biomassa kering yang dihasilkan pada media kontrol dihubungkan pada grafik. Dengan linierisasi dapat diperoleh kurva standar untuk variabel-variabel selanjutnya.

3. Analisa Kadar Lipid

Biomassa kering ditumbuk menggunakan mortar dan dicampur dengan larutan n-heksana untuk mengambil kandungan lipidnya. Proses selanjutnya, lipid diekstrak dari campuran biomassa halus menuju solvent larutan n-heksana dengan menggunakan alat ultrasound dalam waktu 3 x 60 menit. Untuk memisahkan lipid dari n-heksana dapat dilakukan dengan cara distilasi.

4. Analisa Kandungan COD pada Air Dadih (Whey) Tahu

Bahan yang digunakan per sampel adalah 10 ml larutan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,01 N, 5 ml larutan H_2SO_4 4 N dan larutan KMnO_4 . Pertama-tama lakukan standarisasi larutan KMnO_4 dengan cara memasukkan 10 ml larutan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,01 N dan 5 ml H_2SO_4 4 N ke dalam labu erlenmeyer. Campuran kemudian dipanaskan sampai suhu 70-80 °C. Campuran dititrasi dengan larutan KMnO_4 sedikit demi sedikit sampai warna merah anggur yang tidak hilang dengan penggojogan. Catat kebutuhan titran (b ml). Hitung normalitas KMnO_4 dengan rumus:

$$N \text{ KMnO}_4 = \frac{(V \times N) \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}{V \text{ KMnO}_4}$$

Analisa COD dilakukan dengan cara mengambil limbah sebanyak 10 ml, kemudian dimasukkan ke labu erlenmeyer. Tambahkan 5 ml H_2SO_4 4 N ke dalam erlenmeyer dan larutan KMnO_4 hasil standarisasi (b ml) dipanaskan sampai mendidih selama 10 menit. Tambahkan 10 ml $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,01 N dan pertahankan suhu 70-80 °C. Titrasi dengan larutan KMnO_4 standar sampai tercapai TAT (a ml). Hitung COD dengan rumus:

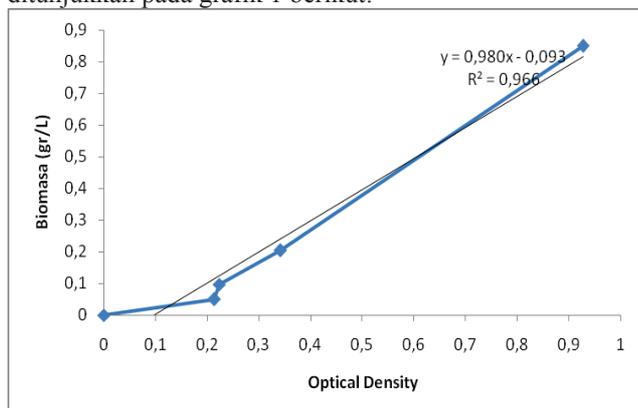
$$\text{COD} = [(a+b) \times N \text{ KMnO}_4 \text{ standarisasi} - (V \times N) \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4] \times 8000$$

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini akan dipelajari perbandingan antara medium kontrol (variabel 0 % penambahan air dadih tahu) yang menggunakan nutrien sintetis sebagai sumber nutrisi dan media dengan penambahan air dadih (*whey*) tahu mengenai densitas optik, biomassa dan kadar lipid yang dihasilkan. Selain itu akan dipelajari efisiensi pemanfaatan air dadih (*whey*) tahu dengan menganalisa penurunan kandungan COD.

Kurva Kalibrasi *Chlorella sp.*

Untuk mendapatkan hubungan antara biomassa kering (*dry weight*) yang dihasilkan untuk setiap densitas optiknya diperlukan suatu kurva kalibrasi. Dari analisa laju pertumbuhan *Botryococcus braunii* pada medium kontrol, kurva kalibrasi untuk *Botryococcus braunii* dapat ditunjukkan pada grafik 1 berikut:



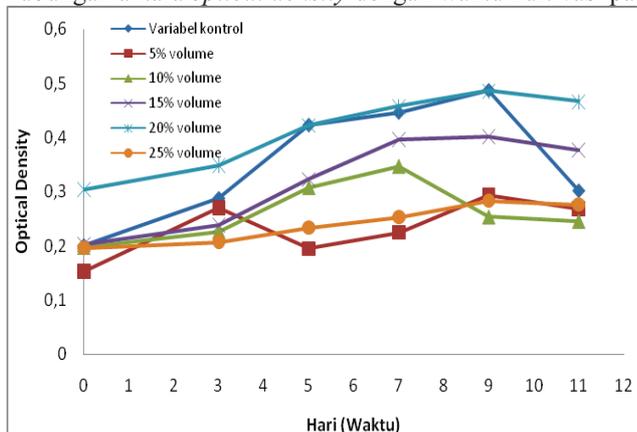
Grafik 1. Hubungan antara Biomassa Kering dengan Waktu Kultivasi pada Medium Kontrol

Dari grafik 1 menunjukkan bahwa hubungan antara biomassa kering dengan waktu kultivasi yang menggunakan nutrien sintetis menunjukkan garis lurus miring ke kanan atas. Hasil penelitian di atas digambarkan dalam persamaan linier $y = 0,092x - 0,130$ dengan menggunakan metode autoflokulasi dari Vandamme et al.(2012). Sehingga dari persamaan linier tersebut, semakin bertambahnya hari dan meningkatnya nilai *optical density* (panjang gelombang 680 nm) tiap

harinya, maka jumlah biomassa kering juga meningkat sedangkan jumlah biomassa kering akan menurun jika nilai *optical density* menurun seiring dengan bertambahnya hari.

Pengaruh Penambahan Air Dadih (*Whey*) Tahu Terhadap Laju Pertumbuhan *Chlorella sp.*

Dari penelitian yang telah dilakukan terhadap kelima variabel penambahan air dadih (*whey*) tahu, dapat dilihat pengaruh penambahan air dadih (*whey*) tahu terhadap laju pertumbuhan *Chlorella sp.* dalam sebelas hari masa kultivasi. Berikut adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara *optical density* dengan waktu kultivasi pada setiap variabel.



Grafik 2. Hubungan antara *optical density* dengan waktu kultivasi pada setiap variabel.

Dari grafik 2 dapat dilihat untuk variabel 1, dengan penambahan 5% volume, variabel 2 dengan penambahan 10% volume, dan variabel 3 dengan penambahan 15% volume air dadih (*whey*) tahu laju pertumbuhan *Chlorella sp.* lebih rendah dari laju pertumbuhan dengan penambahan nutrisi sintetis. Hal ini dikarenakan berkurangnya air dadih (*whey*) tahu dalam media yang dibutuhkan oleh *Chlorella sp.* sehingga mempengaruhi kemampuan pembelahan sel yang menyebabkan menurunnya *optical density* pada hari ke-11. Sedangkan pada laju pertumbuhan dengan penambahan nutrisi sintetis *optical density* menurun pada hari ke-11 juga.

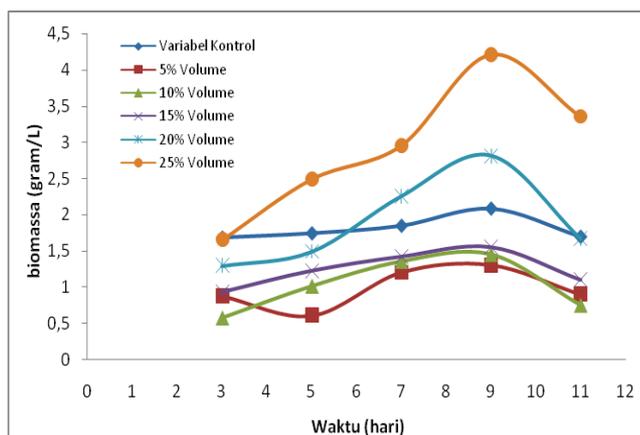
Pada variabel 4, dengan penambahan 20% volume air dadih (*whey*) tahu, laju pertumbuhan *Chlorella sp.* lebih tinggi dari laju pertumbuhan dengan penambahan nutrisi sintetis. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan unsur hara yang terdapat di dalam air dadih (*whey*) tahu dapat dimanfaatkan dengan baik oleh *Chlorella sp.* sehingga tercapai laju pertumbuhan tertinggi pada hari itu.

Pada variabel 5, dengan penambahan 25% volume air dadih (*whey*) tahu, dapat dilihat bahwa laju pertumbuhan *Chlorella sp.* menjadi lebih rendah dari laju pertumbuhan dengan penambahan nutrisi sintetis. Hal ini disebabkan air dadih (*whey*) tahu yang terkandung, pada variabel 5 lebih tinggi dibanding variabel lainnya. Pada penelitian terdahulu juga disebutkan bahwa pada media yang memiliki unsur hara yang terlalu tinggi akan menyebabkan pertumbuhan mikroalga terhambat karena mikroalga tersebut memerlukan waktu yang lebih lama untuk beradaptasi (Suminto & Hirayama, 1996). Beradaptasi adalah fase untuk menyesuaikan diri dengan lingkungannya setelah media kultivasi tersebut diberi air dadih (*whey*) tahu. Seperti contohnya pada variabel 2, indikasi tidak optimalnya laju pertumbuhan *Chlorella sp.* ditandai dengan menurunnya *optical density* pada hari ke-11.

Secara keseluruhan, laju pertumbuhan *Chlorella sp.* paling baik terjadi pada variabel 4 dengan penambahan 20% volume air dadih (*whey*) tahu. Laju pertumbuhan di awal kultivasi sampai hari ke-9 mengalami peningkatan, dan pada hari ke-11 laju pertumbuhan dengan penambahan 20% volume air dadih (*whey*) tahu ini lebih tinggi daripada laju pertumbuhan menggunakan nutrisi sintetis. Pada variabel ini didapatkan *optical density* paling tinggi yaitu 0,486 pada hari ke-9. Hal ini dikarenakan mikroalga akan mengalami pertumbuhan yang baik jika kebutuhan nutrisinya terpenuhi.

Pengaruh Penambahan Air Dadih (*Whey*) Tahu Terhadap Konsentrasi Biomassa

Nutrien berperan penting dalam pertumbuhan mikroalga. Nutrien adalah substansi yang dibutuhkan untuk bertahan hidup atau dibutuhkan untuk sintesis komponen organik sel (pertumbuhan sel). Menurut Faradilla dan Risma (2011), nilai nutrisi dari mikroalga tidak dapat diperbaiki jika kultur sudah melewati fase 3 karena penurunan daya cerna, defisiensi nutrisi dan kemungkinan produksi dari metabolit yang toksik. Fenomena ini dapat dilihat pada grafik 4.6.



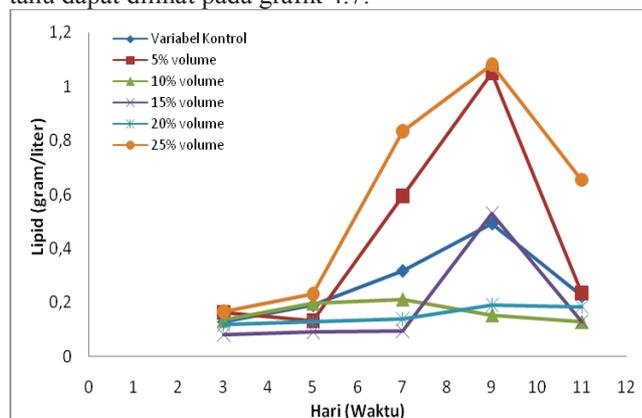
Grafik 3. Hubungan antara biomassa kering dengan waktu kultivasi pada setiap variabel.

Masing-masing mikroalga tidak diaklimatisasi dengan penambahan air dadih (*whey*) tahu secara bertahap, tetapi dikultivasi secara langsung sesuai dengan variabel penambahan air dadih (*whey*) tahu yang ditentukan. Sesuai dengan data yang didapatkan dari hasil penelitian, tren yang dihasilkan oleh kultur mikroalga yang dikultivasi dengan variabel penambahan air dadih (*whey*) tahu yang berbeda, sesuai dengan fase pertumbuhan mikroalga secara umum. Namun biomassa yang dihasilkan oleh masing-masing variabel berbeda kuantitasnya.

Berdasarkan kelima variabel yang diamati, rata-rata setiap variabel mencapai fase-4 (*stationery phase*) pada hari ke-9. Kultur yang menghasilkan biomassa paling tinggi adalah kultur *Chlorella sp.* dengan variabel penambahan air dadih (*whey*) tahu 25% volume (Variabel 5) pada pengambilan hari ke-9 yaitu 4,213 gram/Liter. Kemudian dilanjutkan kultur *Chlorella sp.* dengan penambahan air dadih (*whey*) tahu 20% volume (Variabel 4) pada pengambilan hari ke-9 yaitu 2,819 gram/Liter. Sedangkan untuk kultur *Chlorella sp.* dengan penambahan air dadih (*whey*) tahu 5%, 10%, 15% secara berturut-turut pada hari ke-9 (pertumbuhan maksimal) menunjukkan jumlah biomassa sebanyak 1,302 gram/L, 1,456 gram/L, 1,555 g/L. Nurtiyani (2000) mengatakan bahwa faktor tingginya pertumbuhan biomassa ini dipengaruhi juga oleh jumlah penambahan air dadih (*whey*) tahu. Selain itu, terjadinya penurunan jumlah biomassa setelah hari ke-9 dikarenakan sudah melewati fase ketiga sehingga kemampuan cerna *Chlorella sp.* menurun dan adanya faktor defisiensi nutrisi.

Pengaruh Penambahan Air Dadih (*Whey*) Tahu Terhadap Kadar Lipid Pada Biomassa

Metode yang dilakukan untuk memperoleh hasil minyak adalah dengan cara mikroalga *Chlorella sp.* dikultur atau dikembangbiakkan di dalam medium yang berupa air dadih (*whey*) tahu, dengan penambahan limbah cair 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% volume. Pengambilan sampel dilakukan setiap hari ke 3, 5, 7, 9, dan 11. Hasil minyak dari berbagai penambahan air dadih (*whey*) tahu dapat dilihat pada grafik 4.7.



Grafik 4. Hubungan antara lipid dengan waktu kultivasi pada setiap variabel.

Berdasarkan keenam variabel kultur yang diamati, kultur yang menghasilkan minyak paling tinggi adalah kultur *Chlorella sp.* dengan penambahan air dadih (*whey*) tahu 25% volume (variabel 5) pada pengambilan sampel hari ke-9 yaitu 1,2972 gram/1,2 liter sehingga minyak yang dihasilkan sebesar 1,081 gram/liter. Kemudian dilanjutkan dengan kultur *Chlorella sp.* dengan penambahan air dadih (*whey*) tahu 5% volume (variabel 1) pada pengambilan sampel pada hari ke-9 yaitu 1,2617 gram/1,2 liter sehingga minyak yang dihasilkan sebesar 1,05 gram/liter.

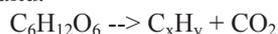
Minyak yang dihasilkan dari masing-masing kultur atau variabel tidak terlalu optimal karena beberapa faktor parameter yang mempengaruhi yaitu besarnya intensitas cahaya, sehingga kurangnya tingkat pertumbuhan dari masing-masing perlakuan mengakibatkan hasil kadar minyak yang sedikit (Amalia,2012).

Pengaruh Penambahan Air Dadih (*Whey*) Tahu Terhadap Konsentrasi Biomassa

Berdasarkan penelitian Perez-Garcia (2011), mikroalga dapat menghasilkan energi dengan cara autotrof, heterotrof, atau mixotrof. Alga autotrof adalah alga yang menghasilkan energi menggunakan bahan CO₂ dari udara dan sinar matahari. Sedangkan alga heterotrof adalah alga yang menghasilkan energi dengan cara memecah komponen kompleks suatu senyawa untuk menjadi sumber energi sederhana. Kemudian alga mixotrof adalah alga yang mampu menghasilkan energi secara autotrof dan heterotrof tergantung dari ketersediaan sumber energi. *Chlorella sp.* berdasarkan penelitian Xu H, Miao X, dan Wu Q (2006) merupakan alga heterotrof, dan menurut John Scheffler (2007), *Chlorella* juga dapat bekerja secara autotrof, di mana *Chlorella sp.* melakukan proses fotosintesis dengan mekanisme sebagai berikut:



Lebih lanjut lagi, menurut Nurtiyani (2000), tujuan penambahan air dadih (*whey*) tahu selain untuk memberikan nutrisi pada pertumbuhan *Chlorella sp.* juga bertujuan untuk menurunkan kadar COD yang terkandung dalam air dadih (*whey*) tahu. Air dadih (*whey*) tahu mengandung senyawa organik penting yang dibutuhkan oleh mikroalga untuk menghasilkan energi yang nantinya akan disimpan dalam bentuk lipid, yaitu karbohidrat. Senyawa inilah yang nanti akan digunakan *Chlorella sp.* untuk melakukan pembentukan energi secara heterotrof melalui mekanisme yang dipaparkan oleh Singh dan Gu (2010), yaitu:



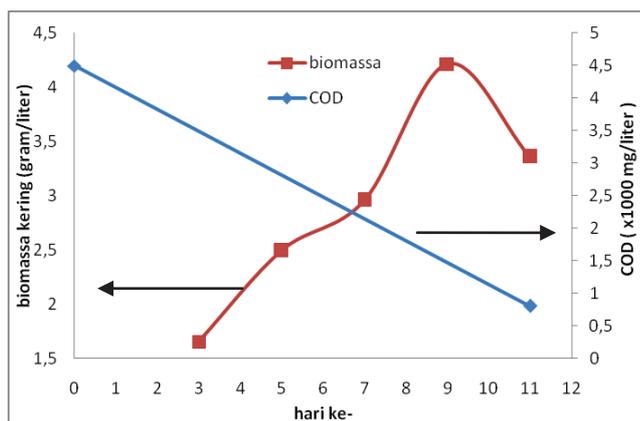
Berikut merupakan hasil penurunan kadar COD air dadih (*whey*) tahu yang disajikan pada tabel 4.5.

Tabel 1. Data Hasil Penurunan Kadar COD pada Air Dadih (*Whey*) Tahu

Variabel	Kadar air dadih (<i>whey</i>) awal (mg/l)	Kadar COD media kultivasi (mg/l)	Masa kultivasi (hari)	Kadar COD akhir (mg/l)	Persen penurunan kadar COD (%)
1	4560	228	11	80	64,91
2	4800	480	11	160	66,67
3	4640	696	11	160	77,01
4	4400	880	11	240	63,63
5	4480	1120	11	320	64,28

Dari tabel 1 dapat diamati bahwa pada kultivasi *Chlorella sp.* selama sebelas hari mampu menurunkan kadar COD dalam air dadih (*whey*) tahu. Berdasarkan data tersebut semakin banyak penambahan air dadih (*whey*) tahu pada konsentrasi alga yang sama, didapatkan perbedaan penurunan kadar COD. Pada variabel 1, dengan penambahan air dadih (*whey*) tahu sebesar 5% volume didapatkan penurunan COD menjadi 80 mg/L. Pada variabel 2 dan variabel 3 dengan penambahan air dadih (*whey*) tahu sebesar 10% dan 15% volume didapatkan penurunan COD menjadi 160 mg/L. Penambahan air dadih (*whey*) tahu sebesar 20% volume pada variabel 4 dapat menurunkan kadar COD menjadi 240 mg/L. Sedangkan untuk penambahan air dadih (*whey*) tahu sebesar 25% volume pada variabel 5 mampu menurunkan kadar COD menjadi 320 mg/L.

Fenomena ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi air dadih (*whey*) tahu. Semakin banyak air dadih (*whey*) tahu dalam konsentrasi *Chlorella sp.* yang sama, kemampuan *Chlorella sp.* untuk menurunkan kadar COD semakin menurun, tetapi jumlah biomassa yang terbentuk semakin banyak seiring dengan bertambahnya nutrient yang terdapat pada air dadih (*whey*) tahu. Hal ini terjadi karena di dalam air dadih (*whey*) tahu terdapat unsur-unsur hara seperti carbon (C), nitrogen (N), dan fosfor (P) yang dapat digunakan *Chlorella sp.* untuk menghasilkan biomassa melalui proses penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana. Proses pembentukan biomassa yang paling tinggi terjadi pada fase eksponensial. Seperti yang dapat dilihat pada grafik 4.8.



Grafik 5. Hubungan antara kenaikan jumlah biomassa dengan penurunan kadar COD seiring waktu pada variabel optimum.

Pada Grafik 5 ini menunjukkan bahwa pada fase eksponensial mikroalga *Chlorella sp.* paling banyak menggunakan unsur yang terkandung pada air dadih (*whey*) tahu. Kemudian pada saat memasuki fase ke-3, yaitu penurunan laju pertumbuhan, jumlah penambahan biomassa mulai turun. Fenomena ini terjadi karena proses kultivasi mikroalga dilakukan secara *batch*, sehingga semakin lama waktu kultivasi semakin sedikit pula nutrient yang dapat dimanfaatkan oleh mikroalga yang menyebabkan terjadinya penurunan jumlah biomassa hingga alga mati. Kawaroe, dkk. (2010) dalam penelitiannya mendapatkan beberapa tanda terjadinya penurunan biomassa, yaitu perubahan warna air media kultivasi dari hijau menjadi keruh, adanya gumpalan mikroalga yang mengendap di dasar bak kultivasi, dan menurunnya nilai *optical density*. Dari hasil penelitian ini membuktikan bahwa kultur *Chlorella sp.* terbukti mampu meringankan beban COD yang terdapat pada limbah tahu dengan cara menguraikan senyawa kompleks pada limbah tahu menjadi senyawa sederhana, sehingga mempermudah proses pengolahan limbah lebih lanjut agar sesuai dengan baku mutu lingkungan.

Potensi Penggunaan Air Dadih (*Whey*) Tahu sebagai Media Kultivasi *Chlorella sp.*

Dengan dilakukannya penelitian ini maka dapat diketahui bahwa air dadih (*whey*) tahu dapat dimanfaatkan sebagai media kultivasi mikroalga khususnya *Chlorella sp.*. Selain berguna dalam penyediaan nutrisi bagi *Chlorella sp.*, pemanfaatan air dadih (*whey*) tahu ini dapat dilakukan sebagai upaya pengolahan limbah produksi tahu sehingga aman untuk dibuang ke lingkungan. Berikut adalah baku mutu air limbah tahu mengacu pada Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomer 10 Tahun 2004:

Tabel 2. Parameter baku mutu air limbah tahu

No	PARAMETER	INDUSTRI TAHU	
		KADAR MAKSIMUM (Mg/L)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)
1.	Temperatur	38°C	-
2.	BOD ₅	150	3
3.	COD	275	5,5
4.	TSS	100	2
5.	PH	6,0 – 9,0	
6.	Debit maksimum	20 m ³ / ton kedelai	

(Peraturan Daerah Propinsi Jateng No.10, Th 2004)

Pada hasil akhir air media kultivasi pada variabel optimum menunjukkan kandungan COD sebesar 160 ppm. Hal ini berarti air sisa kultivasi telah aman untuk langsung dibuang ke lingkungan karena batas COD maksimal yang diizinkan sebesar 275 ppm.

Dengan peninjauan lebih lanjut, dapat dihitung efisiensi pengolahan air limbah tahu terhadap jumlah lipid yang dihasilkan pada kultivasi *Chlorella sp.*. Dengan memperhitungkan jumlah air dadih (*whey*) tahu yang dihasilkan setiap harinya maka dapat dihitung produksi biomassa dan lipid dari kultivasi *Chlorella sp.*. Bagan mengenai neraca massa pada proses pembuatan tahu disajikan dalam gambar 2.4 dengan hasil sebesar 2610,012 kg.

Dengan asumsi densitas air dadih = 1 kg/liter, maka:

Volume air dadih = 2610,012 kg x 1 kg/liter
= 2610,012 liter
= 2610 liter

Dari neraca massa di atas didapatkan hasil berupa tahu, ampas tahu dan air dadih (*whey*). Sebanyak 80 kg tahu dimanfaatkan sebagai bahan pangan untuk manusia dan 70 kg ampas tahu sebagai limbah padat yang masih bisa dimanfaatkan. Sedangkan air dadih (*whey*) sebanyak 2610 liter dibuang ke lingkungan sebagai limbah cair. Secara singkat, dalam pengolahan 60 kg kedelai akan dihasilkan 2610 liter air dadih (*whey*) atau 43,5 liter setiap kilogram kedelai yang diolah (Nurhasan dan Pramudyanto, 1987).

Pada penelitian yang telah dilakukan, semakin banyak limbah cair tahu yang ditambahkan, maka semakin banyak biomassa yang mampu dihasilkan oleh mikroalga. Dengan bertambahnya biomassa memungkinkan terjadinya penambahan lipid yang terkandung dalam mikroalga. Berdasarkan penelitian, pada penambahan limbah cair tahu sebanyak 25% Volume atau 4 Liter dari total volume 16 Liter mampu menghasilkan biomassa sebesar 4,213 gram/L dan lipid sebesar 1,081 gram/L. Jadi dalam volume total sebesar 16 Liter dan nutrisi limbah cair tahu sebanyak 4 Liter akan didapatkan biomassa *Chlorella sp.* sebanyak 67,4 gram dan lipid sebanyak 17,296 gram. Kemudian tiap 1 Liter limbah cair tahu akan menghasilkan biomassa sebanyak 16,85 gram dan lipid sebanyak 4,324 gram.

Menurut Direktur Pemasaran Domestik, Ditjen Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian Kementerian Pertanian (Kementan) Mahfudin memaparkan industri tahu membutuhkan bahan baku berupa kedelai sekitar 450 ribu ton per tahun. Dengan estimasi 360 hari dalam satu tahun, maka kebutuhan kedelai dalam sehari adalah 1.250 ton. Menurut neraca massa di atas, air dadih (*whey*) tahu yang dihasilkan per kilogram kedelai adalah 43,5 liter. Sehingga air dadih (*whey*) tahu yang dihasilkan dari seluruh industri tahu di Indonesia mencapai 54.375.000 liter setiap harinya. Dengan potensi tersebut maka potensi lipid yang dapat dihasilkan dari kultivasi *Chlorella sp.* di Indonesia mencapai 235.117.500 gram. Jika 235.117.500 gram lipid dapat dihasilkan setiap pengolahan 1.250 ton kedelai, secara sederhana dapat disimpulkan bahwa setiap ton kedelai yang diolah maka didapatkan produksi lipid sebesar 188.094 gram atau 188 kilogram per harinya.

Sedangkan pada sentra industri tahu di kawasan Jomblang di Kota Semarang setiap harinya diperlukan 7 kwintal (700 kilogram) kedelai untuk proses produksi. Dengan begitu air dadih (*whey*) tahu yang dihasilkan sebesar 30.500 liter per hari. Dari 30.500 liter air dadih (*whey*) tahu dapat diproduksi 131.882 gram (131,9 kilogram) lipid hasil kultivasi *Chlorella sp.*. Jika 131,9 kilogram lipid dapat dihasilkan setiap pengolahan 700 kilogram kedelai, secara sederhana dapat disimpulkan bahwa setiap kilogram kedelai yang diolah maka didapatkan produksi lipid sebesar 188,094 gram atau mencapai 0,188 kilogram per harinya.

4. Kesimpulan

Pada kultivasi *Chlorella sp.* dengan penambahan nutrisi sintetis, dengan lama waktu kultivasi dari hari ke-0 sampai hari ke-11, pertumbuhan paling tinggi terjadi pada hari ke-9 dengan OD (*optical density*) 0,487, jumlah biomassa kering 2,0818 gram/liter, dan kandungan lipid sebesar 0,493 gram/liter. Pada kultivasi *Chlorella sp.* dengan penambahan air dadih (*whey*) tahu sebanyak 5% volume, 10% volume, 15% volume, 20% volume, dan 25% volume dengan lama waktu kultivasi dari hari ke-0 sampai hari ke-11, didapatkan hasil laju pertumbuhan *Chlorella sp.* paling baik terjadi pada saat penambahan 20% volume pada hari ke-9 dengan *optical density* (OD) 0,486. Sedangkan kandungan biomassa dan lipid paling baik terjadi pada penambahan 25%, yaitu sebesar 4,2125 gram/liter dan 1,081 gram/liter. Kultivasi *Chlorella sp.* menggunakan air dadih (*whey*) tahu dengan konsentrasi 25% volume lebih baik daripada menggunakan nutrisi sintetis. Penurunan COD maksimum pada konsentrasi penambahan air dadih (*whey*) tahu sebesar 15% dengan efisiensi penurunan 77,01%, sedangkan pada konsentrasi penambahan air dadih (*whey*) tahu optimum (25% volume) efisiensi penurunan sebesar 64,28%. Pada sentra industri tahu Jomblang dengan kebutuhan bahan baku kedelai sebesar 7 kwintal per hari dapat dihasilkan lipid sebagai bahan baku biodiesel sebesar 0,188 kg per harinya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Pengolahan Limbah dan Bioproses Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro atas kontribusinya sebagai tempat penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Arief Widjaja, C.-C.C.Y.-H.J., 2009. Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers. *Study of increasing lipid production from fresh water microalgae Chlorella vulgaris*, 40, pp.13-20.
- Assad, L., Utomo, B. & Sari, R.N., 2008. *Pemanfaatan Mikroalga sebagai Bahan Baku Bioetanol*. Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.

- Ayustama, A., 2008. *Proses Produksi Mikroalga dalam Photobioreaktor Mini Pond secara Batch untuk Bahan Bakar Biodisel*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Bosma, Rouke, et al. 2002. *Ultrasound, a New Separation Technique to Harvest Microalgae*. *Journal of Applied Phycology*. Volume 15, 143 – 153.
- Christi, Y., 2007. Biodiesel from Microalgae. *Biotech Adv*, pp.294-306.
- Djarwanti, Sri Moertinah, Harihastuti, Nani. 2000. *Penerapan IPAL terpadu industri kecil tahu di Adiwerna Kabupaten Tegal*, dalam “Bulletin penelitian dan pengembangan industri”. Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri. 27: 1 – 8.
- Fatha, A., 2007. *Pemanfaatan Zeolit Aktif Untuk Menurunkan BOD DAN COD Limbah Tahu*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Gunawan, 2010. *Keragaman dan Karakterisasi Mikroalga dari Sumber Air Panas di Jawa Barat yang Berpotensi Sebagai Sumber Biodiesel*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Hadiyanto, Widayat & Kumoro, A.C., 2012. Potency of Microalgae as Biodiesel Source in Indonesia. *Int. Journal of Renewable Energy Development*, 1, pp.23-27.
- Haryoto & Agustono, W., 2004. Kinetika Bioakumulasi Logam Berat Kadmium oleh Fitoplankton *Chlorella sp* Lingkungan Perairan Laut. *Jurnal Penelitian Sains & Teknologi, Vol. 5, No. 2, 2004: 89 - 103*, V(2), pp.89-103.
- Kawaroe M, Prartono T, Sunuddin A, Augustine D, Sari DW. 2010. *Mikroalga : Potensi dan Pemanfaatannya untuk Produksi Bio Bahan Bakar*. Bogor : IPB Press. Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Lassing M, Martensson P, Olsson E, Svensson M. 2008. *Biodiesel Production from Microalgae*. Norwegia: Statoilhydro ASA.
- Lee, S., Yoon, B. & Oh, H., 1998. Rapid ethod for determination of lipid from the green *Botryococcus braunii*. *Biotechnology Techniques*, pp.553-56.
- Ley, B.M., 2003. *The Ultimate Green Food*. Detroit Lakes, Minnesota, United States of America: BL Publication.
- Molina Grima, E., et al. 2002. *Recovery of Microalgal Biomass and Metabolites : Process Options and Economics*. *Biotechnology Advances*. Volume 20, 491 – 515.
- Merizawati, 2008. *Analisis Sinar Merah, Hijau, dan Biru (RGB) untuk Mengukur Kelimpahan Fitoplankton (Chlorella sp.)*. 2008: Institut Pertanian Bogor.
- Mujizat Kawaroe, T.P.A.S., 2010. *Laju Pertumbuhan Spesifik Chlorella sp. Dan Dunaliella sp. Berdasarkan Perbedaan Nutrien Dan Fotoperiode*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Musanif, J., 2004. Biodiesel.
- Nurtiyani, E., 2000. *Sistem Skala Kecil Terpadu Pengolahan Limbah Cair Tahu Berbasis Mikroalga Chlorella Sp. Tahap I*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Orchidea, R., Setyarini, R.D. & Maulida, L., 2010. *Pemilihan Metode Ekstraksi Minyak Alga dari Chlorella sp. dan Prediksinya sebagai Biodiesel*.
- Perez Garcia, 2011. Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products. *Water Research*, (45), pp.11-36.
- Rini, M.S., Usman, D., Safirah, D. & Christy, G., 2011. *Kultur Chlorella sp. pada Dua Media Berbeda*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sim, S.J., An, J.Y., Kim, B.W.. 2001. *Two-phase Extraction Culture of Botryococcus braunii Producing Long-chain Unsaturated Hydrocarbons*. *Biotechnol Lett*. 23: 201 – 205.
- Scheffler, J., 2007. *Illumin. Underwater Habitats*, XIV(2).
- Singh, J. & Gu S., 2010. Commercialization potential of microalgae for biofuels production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp.2596-610.
- Wijoseno, T., 2011. *Uji Pengaruh Media Kultur terhadap Tingkat Pertumbuhan dan Kandungan Protein, Lipid, Klorofil, dan Karotenoid pada Mikroalga Chlorella vulgaris buitenzorg*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Wijoseno, T., n.d. *Generasi Ketiga Teknologi Alga*.
- Xu H, Miao X, Wu Q, 2006. *Journal of Biotechnology. High quality biodiesel production from a microalga Chlorella protothecoides by heterotrophic growth in fermenters*, 4, pp.499-507.