

PRODUKSI BIODIESEL DARI MIKROALGA – *CHLORELLA VULGARIS* DENGAN METODE EKSTRAKSI MASERASI MENGGUNAKAN PELARUT N-HEKSAN

BIODISEL PRODUCTION FROM MICROALGAE – CHLORELLA VULGARIS BY MACERATION EXTRACTION METHOD USING N-HEXANE SOLVENT

Nurin Retno Sawitri¹, Lutfia Isna Ardhayanti², Andik Yulianto³

Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
e-mail:¹⁾nurinretnosawitri@gmail.com, ²⁾lutfia.isna@uii.ac.id, ³⁾yuliantoandik@gmail.com

Abstract

Based on the Presidential Regulation of Republic of Indonesia No. 22/2017 About National Energy General Plan, in 2015, portion of fossil energy in national energy mix is 95%, while new and renewable energy is only 5%. *Chlorella vulgaris* has the potential to be source of renewable energy in the form of biodiesel, especially in Indonesia where It has abundant amount of *Chlorella vulgaris*. This species of microalgae is easy to breed and has 14-22% fatty acid component so It is suitable to be developed as one of the raw materials of biodiesel production. However, the application of science and technology to utilize microalgae as fuel is still in the process of development. The purpose of this study is to contribute to biodiesel development research from microalgae, also to observe the effect of pH on the harvesting process by flocculation method with the addition of NaOH, and to produce biodiesel from *Chlorella vulgaris* by maceration extraction method using n-hexane solvent. The steps in the biodiesel production from *Chlorella vulgaris* included preparation stage of microalgae biomass, harvesting biomass using flocculation method with effect of pH change, microalgae lipid extraction using maceration with n-hexane solvent, and biodiesel synthesis. The result showed that pH had an effect on flocculation process if It was at optimum value. An over alkaline pH (≥ 9) will cause lysis whereas a pH value that is too low (≤ 6) would not cause floc formation. The result of GC-MS test of biodiesel transesterification solution showed the presence of Hexadecanoic acid, methyl ester as much as 0,52% in sample 1 and 0,73% in sampel 2 which is Fatty Acid Methyl Ester (FAME).

Keywords: biodiesel, *Chlorella vulgaris*, microalga, n-heksan

Abstrak

Menurut Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional, pada tahun 2015 porsi energi fosil dalam bauran energi nasional sebesar 95%, sedangkan energi baru dan terbarukan hanya 5%. Mikroalga *Chlorella vulgaris* memiliki potensi untuk menjadi sumber energi terbarukan berupa biodiesel, terutama di Indonesia dimana memiliki jumlah *Chlorella vulgaris* yang berlimpah. Mikroalga jenis ini mudah dikembangkan biakkan dan memiliki komponen asam lemak sebesar 14-22% sehingga sangat cocok dikembangkan sebagai salah satu bahan baku pembuatan biodiesel. Tetapi penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk memanfaatkan mikroalga sebagai bahan bakar masih dalam proses pengembangan. Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan kontribusi terhadap penelitian pengembangan biodiesel dari mikroalga, juga melihat pengaruh pH pada proses pemanenan dengan metode flokulasi dengan penambahan NaOH, serta menghasilkan biodiesel dari *Chlorella vulgaris* dengan metode ekstraksi maserasi menggunakan pelarut n-heksan. Langkah-langkah dalam produksi biodiesel dari *Chlorella vulgaris* meliputi tahap persiapan biomassa mikroalga, pemanenan biomassa menggunakan metode flokulasi dengan pengaruh perubahan pH, ekstraksi lipid mikroalga menggunakan metode maserasi dengan pelarut n-heksan, dan sintesis biodiesel. Hasil penelitian menunjukkan pH berpengaruh pada proses flokulasi apabila berada pada nilai optimum. pH yang terlalu basa (≥ 9) akan menyebabkan lisis sedangkan pH yang lebih rendah (≤ 6) tidak akan menyebabkan pembentukan flok. Hasil uji GC-MS larutan transesterifikasi biodiesel menunjukkan adanya senyawa Hexadecanoic acid, methyl ester sebanyak 0,52% pada sampel 1 dan 0,73% pada sampel 2 yang merupakan Fatty Acid Methyl Ester (FAME).

Kata Kunci: biodiesel, *Chlorella vulgaris*, mikroalga, n-heksan

1. PENDAHULUAN

Selama beberapa dekade ini, bahan bakar fosil menjadi bagian yang tak terpisahkan dari kehidupan manusia. Secara khusus, bahan bakar fosil dibakar untuk memproduksi energi untuk kebutuhan transportasi dan pembangkit listrik, dimana kedua sektor ini memainkan peranan penting pada perkembangan kehidupan manusia dan sebagai percepatan kemajuan teknologi. Namun, bahan bakar fosil adalah sumber daya non-terbarukan juga telah menyebabkan banyak masalah lingkungan, termasuk efek gas rumah kaca yang berkontribusi penting dalam pemanasan global (Lam dan Lee, 2011). Fenomena ini memaksa manusia untuk terus melakukan pencarian energi alternatif untuk mengurangi beban suplai energi yang tidak dapat diperbaharui.

Salah satu energi alternatif yang sedang berkembang pesat adalah biodiesel. Biodiesel telah diakui sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan. Beberapa keuntungan dari biodiesel adalah sifatnya yang *non-toxic*, *biodegradable*, dan memiliki emisi gas rumah kaca (GHG) yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil saat digunakan pada mesin diesel (Demirbas, 2009).

Bahan baku untuk biodiesel sendiri bisa didapatkan tanaman, hewan, atau minyak bekas. Dari sekian banyak potensi alam yang dimiliki Indonesia, mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintesis penghasil minyak yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai salah satu alternatif bahan baku pembuatan biodiesel (Ondrey, 2008 dan Chisti, 2007). Tercatat sampai saat ini ada empat spesies mikroalga yang telah berhasil dikultivasi pada skala industri, diantaranya adalah *Chlorella sp.*, *Spirulina sp.*, *Dunaliella salina* dan *Nannochloropsis sp.* (Kawaroe dkk., 2010). Salah satu mikroalga yang mudah didapatkan dan dikembangkan di Indonesia adalah *Chlorella sp.*. Jenis alga ini memiliki komponen asam lemak sebesar 14-22% (Sofyan, 2012). Komponen asam lemak dalam mikroalga ini disintesis menjadi biodiesel.

Produksi biodiesel dari mikroalga biasanya meliputi pembudidayaan, peningkatan konsentrasi, *dewatering*, proses ekstraksi minyak, dan proses transesterifikasi minyak (Lee *et al.*, 2010). Metode yang umum digunakan untuk mengekstraksi mikroalga adalah dengan menggunakan pelarut, biasanya menggunakan pelarut non-polar seperti heksan (Magota dkk., 2012). Heksan merupakan pelarut non-polar yang tidak dapat bercampur dengan air sehingga kandungan air di sekeliling sel mikroalga dapat menghalangi kontak antara pelarut heksan dengan bagian sel yang mengandung minyak (Melanie dan Fithriani, 2015).

2. METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium Mikrobiologi dan Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Universitas Islam Indonesia (UII); Laboratorium Patologi Klinik Fakultas Kedokteran (FK), UII; dan Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia.

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Seeding dan Aklimatisasi

Dalam proses ini dilakukan pengambilan bibit mikroalga *Chlorella vulgaris* dan kemudian diencerkan menggunakan air kran. Dilakukan penambahan pupuk NPK yang berfungsi sebagai nutrisi bagi mikroalga. Penambahan pupuk NPK diberikan sebanyak 35 mg/L setiap 2 hari sekali. Mikroalga diidentifikasi spesiesnya menggunakan mikroskop. Proses *seeding* dan aklimatisasi dilakukan sembari melakukan pengamatan warna kultur setiap hari sampai berwarna hijau pekat.

2.2.2 Kultivasi

Reaktor terdiri dari 2 buah reaktor yang diberikan suplai CO₂ sebanyak 0,25 l/menit. Gas CO₂ dialirkan ke reaktor menggunakan pompa dosis melalui *diffuser*. Kedua reaktor mendapatkan intensitas cahaya yang sama. Sumber cahaya berasal dari cahaya matahari dan lampu LED yang direkatkan pada dinding masing-masing reaktor. Temperatur disesuaikan dengan kondisi lingkungan sekitar. Reaktor yang digunakan memiliki desain ukuran panjang x lebar x tinggi yaitu 10 cm x 10 cm x 60 cm.

2.2.3 Identifikasi Jumlah Sel Mikroalga

Identifikasi jumlah sel mikroalga dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan langsung dengan bantuan alat *Haemocytometer* dengan mengambil 1-2 tetes air yang berisi mikroalga menggunakan pipet tetes kemudian memipet sampel ke alat *Haemocytometer* yang sudah ditutup dengan *cover glass*. Setelah itu mikroalga dapat diamati dan dihitung, dengan bantuan *hand counter*, di bawah mikroskop dengan perbesaran 40 kali lalu dibandingkan dengan literatur. Jumlah sel mikroalga dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Jumlah sel (sel/mL)} = \frac{\text{Jumlah sel perkotak} \times \text{Faktor pengenceran}}{0,0004}$$

2.2.4 Pemanenan dan Pengeringan Mikroalga

Pemanenan dilakukan dengan metode flokulasi. Flokulan yang diberikan adalah NaOH yang berfungsi sebagai pengatur pH. NaOH dapat digunakan untuk menurunkan pH sehingga dapat memberikan efisiensi lebih tinggi. Kristal NaOH ditimbang dan dimasukkan ke dalam sampel kemudian sampel diaduk menggunakan *jar test* dengan kecepatan 100 rpm selama 1 menit dan dilanjutkan dengan pengadukan lambat dengan kecepatan 20 rpm selama 15 menit. Setelah flok terbentuk, medium dan *cake* alga dipisahkan menggunakan kertas saring. *Cake* alga ditimbang menggunakan neraca analitik sebagai berat basah. Hasil saringan berupa *cake* tadi dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Mikroalga yang sudah kering digerus dari kertas saring lalu ditimbang menggunakan neraca analitik untuk mengetahui berat keringnya.

2.2.5 Ekstraksi

Ekstraksi menggunakan metode maserasi dengan menggunakan pelarut n-heksan. Biomassa mikroalga *Chlorella vulgaris* yang sudah kering dimasukkan kedalam erlenmeyer bersama dengan pelarut n-heksan dengan perbandingan sampel terhadap pelarut 1:8 (b/v). Kemudian larutan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 5 jam. Selanjutnya erlenmeyer ditutup dengan aluminium foil yang sudah dilubangi sedikit dan dibiarkan selama 19 jam, kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh dibiarkan menguap hingga diperoleh ekstrak pekat.

2.2.6 Sintesis Biodiesel (Transesterifikasi)

Campuran dari 1,7 mL metanol, 0,3 mL asam sulfat dan 2 mL kloroform ditambahkan pada lipid alga dan dipanaskan pada suhu 90°C selama 40 menit dengan dilakukan pengadukan selama pemanasan, kemudian sampel didinginkan sampai suhu ruang dan dicampur 1 mL akuades. Sesudah itu, fasa organik (bagian bawah) terdiri dari FAME dikumpulkan dan pelarut dievaporasi (Nilawati, 2012).

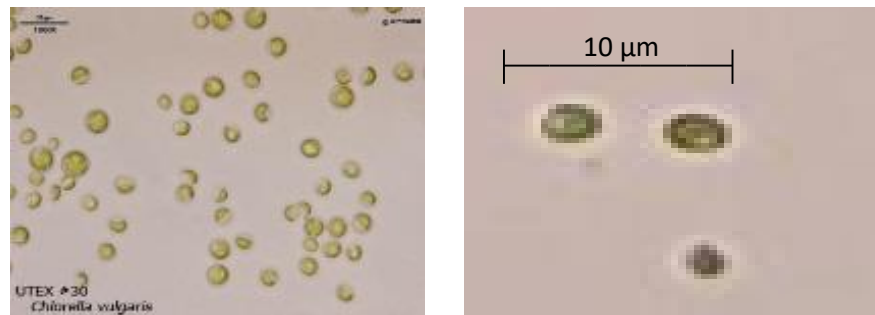
2.2.7 Uji Fatty Acid Methyl Ester (FAME)

Data yang didapatkan selanjutnya dianalisis menggunakan Kromatografi Gas-Spektrofotometri Massa (GC-MS) untuk mengetahui kandungan senyawa minyak atau FAME yang dihasilkan dari proses transesterifikasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Mikroalga

Mikroalga yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari kolam fakultatif IPLT (Instalasi Pengelolaan Limbah Tinja) Sewon, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Berdasarkan morfologi sel mikroalga secara mikroskopik ditemukan mikroalga dengan ukuran kurang dari 10 μm ($<10 \mu\text{m}$), berbentuk bulat, memiliki dinding sel tipis, memiliki inti berwarna hijau yang menunjukkan klasifikasi ganggang hijau, dan ditemukan di air yang kaya nutrisi. Setelah diidentifikasi menggunakan literatur, ciri morfologi sel yang ditemukan merupakan ciri umum dari mikroalga *Chlorella vulgaris*.



Sumber: utex.org/products/utex-0030

Gambar 3.1 Penampakan *Chlorella vulgaris* menurut literatur (kiri) dan pada mikroskop peneliti (kanan)

3.2 Seeding dan Aklimatisasi

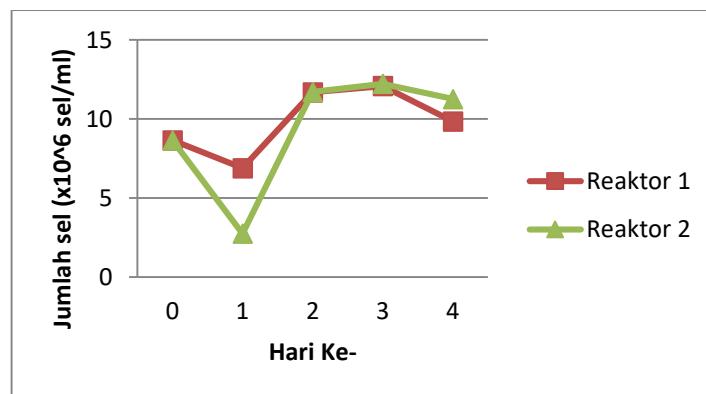
Seeding dan aklimatisasi mikroalga *Chlorella vulgaris* dilakukan dengan mengambil bibit mikroalga dan dikultur pada akuarium yang telah ditambahkan air kran dan diberikan nutrisi sebagai sumber energi bagi mikroalga dengan menambahkan pupuk NPK. Selain itu kultur juga diberikan tambahan oksigen dengan bantuan aerator untuk mencegah terjadinya penggumpalan atau pengendapan pada kultur mikroalga, selain itu juga berfungsi memastikan bahwa semua sel mikroalga mendapat cahaya dan nutrisi yang sama dimanapun berada (Kawaroe *et al.*, 2010).

Selama proses *seeding* dan aklimatisasi dilakukan kontrol terhadap pH agar terus berada pada nilai 7 sampai 8, dan juga pada temperatur agar berada pada temperatur kamar (24°C sampai 30°C). Proses pertumbuhan mikroalga dapat diidentifikasi secara visual. Terjadi perubahan warna air mikroalga dari hijau muda (bening) menjadi hijau tua (pekat). Hal ini menunjukkan bahwa mikroalga dapat mengonsumsi nutrisi yang diberikan secara optimal dimana mikroalga tersebut

memasuki fase eksponensial dengan menghasilkan warna kultur yang lebih hijau seiring dengan meningkatnya kepadatan kultur (Pranayogi, 2003).

3.3 Kultivasi dan Analisis Sel *Chlorella vulgaris*

Kultivasi dapat dilakukan setelah visual air mikroalga berwarna hijau pekat dengan kepadatan mikroalga minimal adalah 6×10^6 sel/mL media (Handayani *et al.*, 2014). Dalam uji *Haemocytometer* pada air mikroalga hijau pekat dalam penelitian ini didapatkan sebanyak $8,64 \times 10^6$ sel/mL. Tahap pertama, air mikroalga dimasukkan ke dalam reaktor dan diencerkan. Kemudian masing-masing reaktor dialirkan CO_2 sebanyak 0,25 L/menit dimana CO_2 digunakan sebagai substrat pada fotosintesis mikroalga. Reaktor berisi air mikroalga diletakkan di luar ruangan untuk memaksimalkan intensitas cahaya. Intensitas cahaya rata-rata yang diberikan adalah 6.225 lux pada siang hari dan 3.860 lux pada malam hari. Jumlah kepadatan sel mikroalga diamati setiap hari. Jumlah kepadatan sel per hari pada masing-masing reaktor dapat dilihat dari Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Jumlah Kepadatan Sel Mikroalga Perhari

Dari gambar di atas, diketahui bahwa jumlah sel mikroalga pada reaktor 1 yang selanjutnya disebut sebagai sampel 1 pada hari pertama sampai hari keempat berturut-turut adalah $6,88 \times 10^6$; $11,68 \times 10^6$; $12,08 \times 10^6$; dan $9,84 \times 10^6$ sel/mL. Selanjutnya pada reaktor 2 yang selanjutnya disebut sebagai sampel 2 pada hari pertama sampai keempat berturut-turut adalah $2,74 \times 10^6$; $11,7 \times 10^6$; $12,22 \times 10^6$; dan $11,26 \times 10^6$ sel/mL.

Hari ke-0 adalah hari terakhir dalam proses seeding dan aklimatisasi dengan jumlah $8,64 \times 10^6$ sel/mL dimana mikroalga telah siap untuk memasuki tahap kultivasi. Selanjutnya pada kultivasi hari pertama mikroalga mengalami penurunan jumlah kepadatan sel yang menandakan fase lag atau fase adaptasi dimana jumlah selnya masih sangat sedikit. Kemudian pertumbuhan pesat terjadi pada

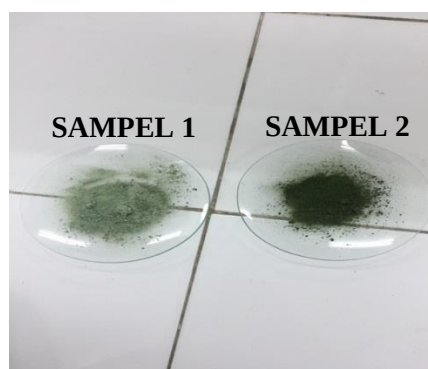
hari kedua sehingga fase ini disebut fase eksponensial. Hari ketiga memasuki fase stasioner dimana pertumbuhan terjadi dalam jumlah yang sedikit. Lalu hari keempat mikroalga mengalami penurunan jumlah sel dimana mikroalga sudah memasuki fase kematian.

3.4 Pemanenan dan Pengeringan

Pemanenan mikroalga dilakukan pada hari keempat dengan teknik flokulasi. Sistem flokulasi yang digunakan adalah pengaturan pH sehingga biomassa akan mengalami autoflokulasi. 2,5 L sampel 1 diberikan kristal NaOH sebanyak 9 g/L dan tawas 2 g/L kemudian diaduk dan didiamkan selama 1 jam agar flok mengendap. pH larutan sampel 1 adalah 9. Perlakuan yang sama dilakukan pada sampel 2, akan tetapi kristal NaOH diberikan sebanyak 0,2 g/L saja. pH larutan sampel 2 adalah 6.

Larutan sampel 1 dan sampel 2 memberikan warna yang berbeda. Sampel 1 berwarna hijau muda keruh sedangkan sampel 2 berwarna hijau tua pekat seperti warna mikroalga hijau kering pada umumnya. Warna hijau muda keruh pada sampel 1 diakibatkan oleh terjadinya lisis atau rusaknya dinding sel dan keluarnya isi dari sel. Keluarnya isi dari sel menyebabkan sel mati dan sebagian flok yang terbentuk kembali berceraai atau tidak mengendap karena menjadi lebih ringan. Hal inilah yang menyebabkan perubahan warna pada larutan juga hasil mikroalga setelah dikeringkan.

Setelah tahap flokulasi dilakukan, selanjutnya masing-masing larutan disaring menggunakan kertas saring. Hasil saringan berupa *cake*. Berat basah *cake* sampel 1 adalah 3,274 gram dan sampel 2 adalah 3,592 gram. *Cake* mikroalga *Chlorella vulgaris* ini kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Mikroalga kering dikeruk dari kertas saring dan dikumpulkan. Selanjutnya ditimbang menggunakan neraca analitik. Didapatkan hasil mikroalga kering sampel 1 sebanyak 1,009 gram dan sampel 2 sebanyak 1,174 gram.



Gambar 3.3 Mikroalga kering

3.5 Ekstraksi Lipid

Ekstraksi lipid mikroalga menggunakan metode maserasi dengan pelarut n-heksan. Maserasi akan menyebabkan pemecahan dinding sel dan membran sel akibat dari perbedaan tekanan di dalam dan di luar sel sehingga lipid yang terdapat di dalam sitoplasma akan larut dalam pelarut organiknya. Proses maserasi pada penelitian ini menggunakan pelarut n-heksan.

Sampel mikroalga yang diberikan pelarut n-heksan kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 jam untuk mempersingkat proses maserasi. Setelah dilakukan pengadukan, erlenmeyer ditutup menggunakan alumunium *foil* yang telah diberikan sedikit lubang untuk mengurangi tekanan yang terjadi di dalam erlenmeyer akibat penguapan pelarut, lalu didiamkan selama 19 jam.

Dari hasil maserasi yang dilakukan terlihat adanya 3 lapisan. Lapisan paling bawah adalah *cake* alga, lapisan kedua adalah larutan bening, dan lapisan ketiga adalah lapisan lipid seperti minyak bening yang sangat tipis. Selanjutnya larutan tersebut disaring menggunakan kertas Whatman No. 42. Hasil penyaringan berupa larutan bening seperti pada Gambar 3.4.

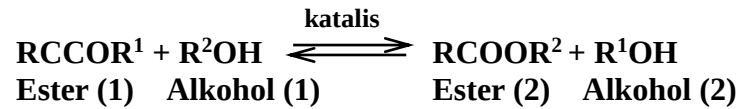


Gambar 3.4 Larutan Hasil Penyaringan Proses Maserasi

Larutan hasil penyaringan tadi dimasukkan kedalam corong pisah untuk memisahkan pelarut dan ekstrak lipid mikroalga. n-Heksan terlihat membentuk lapisan baru di bagian atas larutan. Bagian atas larutan yang dimungkinkan mengandung lipid mikroalga ini diambil dan disimpan dalam botol sampel. Larutan n-heksan kemudian mengalami penguapan dengan sendirinya setelah didiamkan dalam botol sampel. Hasilnya masing-masing sampel menghasilkan hanya ± 3 tetes larutan saja. Larutan ini merupakan ekstrak pekat yang digunakan untuk proses selanjutnya.

3.6 Sintesis Biodiesel (Transesterifikasi)

Hasil transesterifikasi mikroalga yang berupa trigliserida harus dikonversikan melalui proses transesterifikasi untuk menjadi biodiesel. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi kesetimbangan. Reaksi yang terjadi dalam proses transesterifikasi adalah sebagai berikut:



Penelitian dilakukan dengan mencampur pelarut organik metanol, kloroform, asam sulfat, dan ekstrak pekat lipid alga ke dalam erlenmeyer. Asam sulfat dalam hal ini digunakan sebagai katalis asam untuk mempercepat reaksi. Kemudian dengan menggunakan *magnetic stirrer* larutan diaduk dengan kecepatan rendah pada suhu 90°C selama 40 menit. Selanjutnya larutan didinginkan sampai pada suhu ruang. Hasil transesterifikasi dimurnikan dengan cara dicuci menggunakan akuades sebanyak 1 mL.

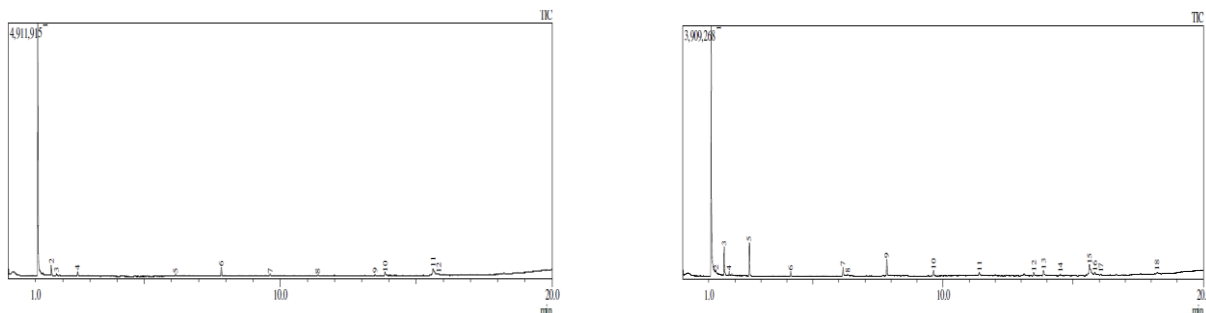
Setelah dilakukan tahapan transesterifikasi, secara visual tidak terlihat adanya 2 lapisan pada larutan. Hal ini menimbulkan kemungkinan bahwa tidak terdapat biodiesel pada larutan atau terdapat biodiesel dengan konsentrasi yang sangat kecil.



Gambar 3.5 Larutan hasil transesterifikasi

3.7 Uji *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME)

Larutan hasil transesterifikasi tidak dapat diidentifikasi secara visual. Maka diperlukan pengujian menggunakan alat Kromatografi Gas-Spektrofotometri Massa (GC-MS) untuk mengetahui apakah terdapat senyawa kimia *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) di dalamnya. Hasil analisa kromatogram larutan transesterifikasi biodiesel *Chlorella vulgaris* menggunakan GC-MS dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Kromatogram Larutan Transesterifikasi Biodiesel *Chlorella vulgaris* pada Sampel 1 (kiri) dan Sampel 2 (kanan)

Analisa kromatogram yang diperoleh berturut-turut menunjukkan adanya 12 dan 18 senyawa yang terkandung dalam larutan hasil transesterifikasi biodiesel dari mikroalga *Chlorella vulgaris* seperti yang telah tersaji pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.1 Komponen Kimia Larutan Hasil Transesterifikasi (Sampel 1)

No	Waktu Retensi	Area (%)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Indeks Kemiripan (%)
1	1,085	76,98	<i>Sulfur dioxide</i>	O ₂ S	96
2	1,585	2,72	<i>Cyclotrisiloxane, hexamethyl-</i>	C ₆ H ₁₈ O ₃ Si ₃	97
3	1,769	0,55	<i>Sulfuric acid, dimethyl ester</i>	C ₂ H ₆ O ₄ S	89
4	2,549	1,76	<i>Cyclotetrasiloxane, octamethyl-</i>	C ₈ H ₂₄ O ₄ Si ₄	94
5	6,154	0,95	<i>Cyclotrisiloxane, hexamethyl-</i>	C ₆ H ₁₈ O ₃ Si ₃	85
6	7,835	3,50	<i>Cyclotetrasiloxane, octamethyl-</i>	C ₈ H ₂₄ O ₄ Si ₄	81
7	9,630	1,01	<i>Cyclopentasiloxane, decamethyl-</i>	C ₁₀ H ₃₀ O ₅ Si ₅	73
8	11,379	0,52	<i>tert-Butyldimethylsilyl</i>	C ₁₉ H ₃₇ Cl ₄ O ₃ Si ₂	53
9	13,496	0,52	<i>Hexadecanoic acid, methyl ester</i>	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	88
10	13,854	2,08	<i>Hexadecanoic acid</i>	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	93
11	15,628	8,61	<i>9-Octadecenoic acid</i>	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	90
12	15,833	0,80	<i>2-Cyclopentene-1-undecanoic acid</i>	C ₁₆ H ₂₈ O ₂	72

Tabel 3.2 Komponen Kimia Larutan Hasil Transesterifikasi (Sampel 2)

No	Waktu Retensi	Area (%)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Indeks Kemiripan (%)
1	1,093	62,50	<i>Sulfur dioxide</i>	O ₂ S	97
2	1,272	0,49	<i>Hydroperoxide, hexyl</i>	C ₈ H ₁₄ O ₂	75
3	1,591	7,00	<i>Cyclotrisiloxane, hexamethyl-</i>	C ₆ H ₁₈ O ₃ Si ₃	97
4	1,775	0,77	<i>Sulfuric acid, dimethyl ester</i>	C ₂ H ₆ O ₄ S	93
5	2,554	7,09	<i>Cyclotetrasiloxane, octamethyl-</i>	C ₈ H ₂₄ O ₄ Si ₄	96

6	4,146	1,05	<i>Cyclopentasiloxane, decamethyl-</i>	$C_{10}H_{30}O_5Si_5$	93
7	6,154	2,45	<i>Cyclotrisiloxane, hexamethyl-</i>	$C_6H_{18}O_3Si_3$	88
8	6,334	0,85	<i>Cyclohexasiloxane, dodecamethyl</i>	$C_{12}H_{36}O_6Si_6$	84
9	7,836	3,99	<i>Cyclotetrasiloxane, octamethyl-</i>	$C_8H_{24}O_4Si_4$	81
10	9,631	1,75	<i>Cyclopentasiloxane, decamethyl-</i>	$C_{10}H_{30}O_5Si_5$	76
11	11,392	0,77	<i>1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13-Tetradecamethyl-heptasiloxane</i>	$C_{14}H_{44}O_6Si_7$	64
12	13,492	0,73	<i>Hexadecanoic acid, methyl ester</i>	$C_{17}H_{34}O_2$	93
13	13,885	1,96	<i>Hexadecanoic acid</i>	$C_{16}H_{32}O_2$	92
14	14,509	0,40	<i>Nonamethyl, phenyl-, cyclopentasiloxane</i>	$C_{15}H_{32}O_5Si_5$	62
15	15,627	6,90	<i>9-Hexadecenoic acid</i>	$C_{16}H_{30}O_2$	90
16	15,833	0,58	<i>Octadecanoic acid</i>	$C_{18}H_{36}O_2$	85
17	16,071	0,32	<i>Disilane,1,1,2,2-Tetramethyl-1,2-Diphenyl-</i>	$C_{16}H_{22}Si_2$	53
18	18,227	0,39	<i>Oleic acid, 3-hydroxypropyl ester</i>	$C_{21}H_{40}O_3$	82

Pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 menunjukkan adanya kandungan biodiesel yang dihasilkan dari *Chlorella vulgaris* pada sampel 1, yaitu *Hexadecanoic acid, methyl ester* sebesar 0,52% pada sampel 1 dan 0,73% pada sampel 2. *Hexadecanoic acid, methyl ester* merupakan *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME). Selain itu juga ditemukan *Hexadecanoic acid*, *9-Octadecanoic acid*, dan *2-Cyclopentene-1-undecanoic acid* pada sampel 1 serta *Hexadecanoic acid*, *9-Hexadecanoic acid*, *Octadecanoic acid*, dan *Oleic acid, 3-hydroxypropyl ester* pada sampel 2 yang kesemuanya merupakan asam lemak yang berasal dari lipid mikroalga yang berpotensi menjadi bahan baku biodiesel. Sedangkan komponen lainnya kemungkinan merupakan senyawa organosilikon siklik yang terdapat dalam ekstrak yang disintesis menggunakan pelarut organik dan senyawa lainnya dari penambahan asam sulfat (H_2SO_4) sebagai katalis pada proses transesterifikasi.

4. KESIMPULAN

Nilai pH pada proses pemanenan mikroalga dengan metode flokulasi menggunakan NaOH akan berpengaruh pada proses pembentukan flok apabila berada pada nilai optimum. Nilai pH yang terlalu besar dapat menyebabkan lisis sedangkan nilai pH yang terlalu kecil tidak dapat menyebabkan pembentukan flok. Hasil pengujian GC-MS menunjukkan adanya kandungan senyawa *Hexadecanoic acid, methyl ester* sebanyak 0,52% pada sampel 1 dan 0,73% pada sampel 2 yang merupakan *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME).

DAFTAR PUSTAKA

- Amini, Sri dan Syamdidid. 2006. **Konsentrasi Unsur Hara pada Media dan Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dengan Pupuk Anorganik Teknis dan Analisis.** *Jurnal Perikanan*. VII(2). 201-206
- Barnwal B. K., Sharma R.. 2005. **Prospects of Biodiesel Production from Vegetables Oils in India.** *Renew Sustain Energy Rev.* 9. 363-78
- Biondi, N. dan M. Tredici. 2011. **Algae and Aquatic Biomass for a Sustainable Production of 2nd Generation Biofuels.** UNIFI. 148-150
- Chisti, Y.. 2007. **Biodiesel from Microalgae.** *Biotechnology Advances*. Elsevier. 25. 297-306
- Choocote, W., K. Paiboonsin, S. Ruangpan dan A. Pharuang. 2012. **Effects of Urea and Light Intensity on the Growth of *Chlorella sp.*** The 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology. Bangkok. 130-131
- Clegg, C. J. & DG. Mackean. 2000. **Advanced Biology Principle and Applications.** London: John Murray (Publisher) Ltd
- Demirbas, A. 2009. **Progress and Recent Trends in Biodiesel Fuels.** *Energy Conversion and Management*. 50(1). 14-34
- Demirbas, A. dan M. Fatih Demirbas. 2010. **Importance of Algae Oil As Source of Biodiesel.** *Energy Conversion and Management*. 52. 163-170
- Dyah P, Shintawati. 2011. **Produksi Biodiesel dari Mikroalga *Chlorella sp* dengan Metode Esterifikasi In Situ.** Tesis. Semarang: Universitas Diponegoro
- Felizardo, P., Correia M. J. N., Raposo I., Mendes J. F., Berkemeier R., Bordado J. M.. 2006. **Production of Biodiesel from Waste Frying Oil.** *Waste Management*. 26(5). 487-94
- Fogg, G. E. & B. Thake. 1987. **Algal Cultures and Phytoplankton Ecology.** Wincosin: 3rd The University of Wincosin Press
- Fukuda H, K. A., Noda A.. 2001. **Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils.** *J Biosci Bioeng*. 92. 16-405
- Handayani, T., Mulyanto, A. dan Sopiah, N.. 2014. **Penyerapan Emisi CO₂ oleh Mikroalga *Euglena sp* dengan Bioreaktor Kolam Kultur.** *Jurnal Ecolab*. 8. 1-52
- Hu, Qiao, Rong Zeng, Seng-Xiang Zhang, Zhong-Hua Yang, dan Hao Huang. 2014. **Production of Microalgal Lipids as Biodiesel Feedstock with Fixation of CO₂ by *Chlorella vulgaris*.** *Food Technol. Biotechnol.* 52(3). 285-291

- Kawaroe, M., Tri Prartono, Adriani Sunuddin, Dahlia Wulan Sari, dan Dina Augustine. 2010. **Mikroalga: Potensi dan Pemanfaatannya untuk Produksi Bio Bahan Bakar**. Bogor: IPB Press
- Kemp, William H.. 2009. **The Renewable Energy Handbook: The Updated Comprehensive Guide to Renewable Energy and Independent Living**. Canada: Aztext Press
- Kulkarni, M.G., Dalai A. K.. 2006. **Waste Cooking Oil – an Economic Source for Biodiesel: A review**. *Ind Eng Chem Res.* 45: 2901-13
- Lam, M. K. dan K. T. Lee. 2011. **Mixed Methanol-Ethanol Technology to Produce Greener Biodiesel from Waste Cooking Oil: A Breakthrough for $\text{SO}_4^{2-}/\text{SnO}_2\cdot\text{SiO}_2$ Catalyst**. *Fuel Process. Technol.* 92. 1639-1645
- Lam, M. K., Mohamad I. Y., Yoshimitsu U., Jun W. L., Choon G. K., Keat T. L., Hwai C. O.. 2016. **Cultivation of *Chlorella vulgaris* Using Nutrients Source from Domestic Wastewater for Biodiesel Production: Growth Condition and Kinetic Studies**. *Renewable Energy*. Elsevier. 103. 197-207
- Lee, J. Y., C.Yoo, S. Y. Jun, C. Y. Ahn, H. M. Oh. 2010. **Comparison of Several Methods for Effective Lipid Extraction from Microalgae**. *Bioresour. Technol.* 101. 575-577
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., dan Parker, J.. 2000. **Brock Biology of Microorganism. 9th Edition**. New Jersey: Prentice-Hall Inc
- Magota, A., K. Saga, S. Okada, S. Atobe, K. Imou. 2012. **Effect of Thermal Pretreatments on Hydrocarbon Recovery from *Botryococcus braunii***. *Bioresource Technology*. 123. 195-198
- McCausland, M. A., Brown, M. R., Barret, S. M., Diemaar, J. A. and Heasmn, M. P.. 1999. **Evaluation of Live Microalgae and Microalgae Pastes as Supplementary Food for Junivile Pacific Oysters (*Crassostrea gigas*)**. *Aquacul.* 174. 323-342
- Mahreni. 2010. **Peluang dan Tantangan Komersialisasi Biodiesel-Review**. *Eksergi*. Volume X. 2: 15-25
- Melanie, S., D. Fithriani. 2015. **Rendemen Minyak dari Mikroalga *Spirulina* sp. dan *Chlorella* sp. dengan Teknik Pemecahan Dinding Sel**. Widyariset. Vol. 1. No. 1: 61-70
- Munawaroh, S. dan A. Handayani. 2010. **Ekstraksi Minyak Daun Jeruk Purut (*Citrus hystrix* D.C.) dengan pelarut Etanol dan N-Heksana**. *Jurnal Kompetensi Teknik*. 1(2). 73-78
- Nilawati, Destya. 2012. **Studi Awal Sintesis Biodiesel dari Lipid Mikroalga *Chlorella vulgaris* Berbasis Medium Walne melalui Reaksi Esterifikasi dan Transesterifikasi**. Skripsi. Universitas Indonesia
- Oh, Hee-Mock. 2001. **Harvesting of *Chlorella vulgaris* Using A Bioflocculant from *Paenibacillus* sp. AM49**. Kluwer Academic Publishers: Netherland

- Ondrey, G.. 2008. **Commercial Production and Debut of A New Solid-acid Catalyst for Making Biodiesel**. *Chemical Engineering*. **115(2)**. 12
- Patil, P. D., Gude, V. G., Mannarswamy, A., Deng, S., Cooke, P., Manson-McGee, S., Rhodes, I., Lammers, P. dan Nirmalakhandan, N.. 2011. **Optimization of Direct Conversion of Wet Algae to Biodiesel Under Supercritical Methanol Conditions**. *Biosource Technology*. **102**. 182-122
- Pelczar, M. J. & E. C. S. Chan. 1986. Penterjemah, Ratna Siri Hadieoetomo dkk. **Dasar-Dasar Mikrobiologi I**. Jakarta: UI-Press
- Pranayogi, D.. 2003. **Studi Potensi Pigmen Klorofil dan Karetenoid dari Mikroalga Jenis *Chlophyceae***. Universitas Lampung. 59
- Pratama, Irfan. 2011. **Pengaruh Metode Pemanenan Mikroalga Terhadap Biomassa dan Kandungan Esensial *Chlorella vulgaris***. Skripsi. Universitas Indonesia
- Round, F. E.. 1973. **The Biology of Algae**. London: Edward Arnold. 278
- Safi, C., Ursu, A. V., Laroche, C., Zebib, B., Merah, O., Pontailer, P.Y. dan Vaca-Garcia, C.. 2014. **Aqueous Extraction of Proteins from Microalgae: Effect of Different Cell Disruption Methods**. *Algal Research*. **3(1)**. 61-65
- Sofyan, Putra. 2012. **Panduan Membuat Sendiri Bensin & Solar**. Yogyakarta: Pustaka Baru Press
- Sulistyo, Joko. 2010. **Eksplorasi Sumber Daya Mikroba Penghasil Lemak Sel Tunggal untuk Pengembangan Bioenergi Alternatif Berbasis Biodiesel dan Biometan**. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
- Suriawiria, U.. 2005. **Chlorella untuk Kesehatan dan Kebugaran**. Jakarta: Papas Sinar Sinanti
- Wang, B., Li, Y., Wu, N. dan Christopher Q. L.. 2008. **CO₂ Bio-Mitigation Using Microalgae**. *Appl Microbiol Biotechnol*. **79**. 707-718
- Wati, A., dan S. A. Motto. 2011. **Ekstraksi Minyak dari Mikroalga Jenis *Chlorella* sp Berbantuan Ultrasonik**. Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang
- Widyastuti, C. R. dan Dewi, A. C.. 2015. **Sintesis Biodiesel dari Minyak Mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis KOH**. Teknik Kimia D3 Universitas Semarang