



PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK MIKROALGA *DUNALIELLA SALINA* DENGAN PROSES TRANSESTERIFIKASI MENGGUNAKAN KATALIS BASA

Efri Marnelisa, Azhari*, Meriatna, Zainuddin Ginting, Suryati

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355
Korespondensi: HP: 085362159499, e-mail: azhari@unimal.ac.id

Abstrak

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang diperoleh dari minyak tumbuh-tumbuhan, lemak binatang, dan minyak bekas melalui proses transesterifikasi dengan alkohol. Ada banyak penelitian tentang pembuatan biodiesel dari bahan nabati, bahan baku yang sering digunakan yaitu CPO (Crude Palm Oil). Pada penelitian ini digunakan minyak mikroalga berjenis Dunaliella Salina sebagai bahan baku utamanya. Mikroalga merupakan salah satu biomassa yang potensial untuk menghasilkan biodiesel mengingat kecepatan tumbuhnya yang relatif cepat, kualitas minyaknya yang tinggi, serta mudah ditemukan di air tawar maupun air asin. Tujuan penelitian ini adalah memanfaatkan minyak mikroalga Dunaliella Salina sebagai bahan baku pembuatan biodiesel dengan proses transesterifikasi menggunakan katalis KOH dengan variasi persen katalis yaitu 2%, 4% dan 6% dan variasi rasio mol minyak yaitu 1:5, 1:6 dan 1:7 dengan suhu tetap yaitu 60°C dan waktu 1 jam. Hasil terbaik pada penelitian ini yaitu pada rasio mol 1:7 dan persen katalis 1% yang memperoleh yield 74,36, densitas 0,815 gr/ml, viskositas 2,60 Cst dan kadar air 0,025%. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa minyak dari mikroalga berjenis Dunaliella Salina dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel.

Kata kunci: Biodiesel, Mikroalga, Dunaliella Salina, Transesterifikasi.

1. Pendahuluan

Kelangkaan bahan bakar minyak yang terjadi belakangan ini telah memberikan dampak yang sangat luas di berbagai sektor kehidupan. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak bumi, salah satu caranya dengan mengembangkan bahan bakar alternatif ramah lingkungan seperti biodiesel (Prihandana,2006). Biodiesel merupakan bahan bakar minyak dari nabati maupun lemak hewan yang memiliki sifat menyerupai minyak diesel. Biodiesel terdiri dari monoalkil ester yang dapat terbakar bersih. Biodiesel bersifat terbarukan dapat menurunkan emisi kendaraan, bersifat melumasi dan dapat meningkatkan kinerja

mesin. Biodiesel dibuat secara transesterifikasi maupun esterifikasi minyak nabati dengan katalis basa maupun asam sehingga menghasilkan metil ester.

Kebutuhan minyak diesel yang tinggi akan meningkatkan kebutuhan bahan bakunya. Konsep dalam memilih bahan baku biodiesel bukan sebagai pengganti bahan baku yang telah ada, tetapi untuk memenuhi kekurangan bahan baku pembuatan biodiesel. Dari sekian banyak potensi alam yang dimiliki oleh Indonesia, mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintesis penghasil minyak yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai salah satu alternatif bahan baku pembuatan biodiesel (Christy, 2005). Dibandingkan dengan tanaman darat penghasil minyak, mikroalga memiliki produktivitas minyak yang lebih tinggi persatuan luas lahan yang digunakan. Semua jenis mikroalga memiliki komposisi kimia sel yang terdiri dari protein, karbohidrat, lemak, dan asam nukleat, dengan persentase yang bervariasi tergantung jenis alga. Komponen *fatty acids* dalam minyak mikroalga *Dunaliella Salina* dapat disintesis menjadi biodiesel.

Beberapa alasan mikroalga baik dikembangkan di Indonesia karena beberapa hal, yaitu keanekaragaman mikroalga yang tinggi di Indonesia, potensi geografis dengan perairan laut tropis yang luas dan sinar matahari yang melimpah, kemampuan untuk memfiksasi CO₂, berpotensi sebagai sumber bioenergi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, tidak ada konflik dengan lahan untuk pangan. Mikroalga juga memiliki kandungan protein yang sangat tinggi, sehingga mikroalga juga dikenal sebagai *single cell protein* (SCP). Lemak dalam mikroalga terdiri dari gliserol, asam lemak jenuh atau asam lemak tak jenuh. Komposisi lemak pada masing-masing mikroalga dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti perbedaan nutrisi, lingkungan dan fasa pertumbuhan.

Total kandungan minyak dan lemak dari mikroalga berkisar 1% sampai 70% dari berat keringnya. Kandungan lipid mikroalga biasanya dalam bentuk gliserol dan asam lemak dengan panjang rantai C₁₄ dan C₂₂. Mereka biasanya jenuh dan tidak jenuh. Trigliserida merupakan salah satu jenis yang paling umum terkandung dalam lemak mikroalga dan bisa mencapai 80% dari total fraksi lipid. Disamping trigliserida, kandungan lipid lainnya adalah *sulphoquinovosyl*

digliserida, monogalaktosil digliserida (MGDG), digalaktosil digliserida, lesitin, fosfatidil gliserol, dan fosfatidil inositol (Irawan et al., 2019).

Beberapa penelitian di berbagai jurnal juga pernah membahas atau menggunakan mikroalga sebagai bahan baku untuk pembuatan biodiesel, dimana mikroalga yang digunakan yang paling sering yaitu mikroalga yang berjenis *Chlorella sp*, *nannochloropsis sp*, *Botryococcus Braunii*, dan lainnya. Maka dalam penelitian ini digunakan mikroalga berjenis *Dunaliella Salina* sebagai bahan baku pembuatan biodiesel.

Dunaliella salina merupakan jenis alga hijau yang banyak ditemukan dilahan garam laut. Dikenal karena aktivitas antioksidannya karena kemampuannya untuk menciptakan sejumlah besar karotenoid, dia digunakan dalam kosmetik dan suplemen makanan. Beberapa organisme dapat bertahan hidup seperti *dunaliella salina* dalam kondisi yang sangat asin seperti kolam penguapan garam. Untuk bertahan hidup, organisme ini memiliki konsentrasi karoten yang tinggi untuk melindungi terhadap cahaya yang intens, dan konsentrasi gliserol yang tinggi untuk memberikan perlindungan terhadap tekanan osmotik.

Spesies dalam genus *Dunaliella* secara morfologi mirip dengan *Chlamydomonas reinhardtii* dengan pengecualian utama bahwa *Dunaliella* tidak memiliki dinding sel dan vakuola kontraktil. *Dunaliella* memiliki dua flagela dengan panjang yang sama dan memiliki kloroplas seperti cangkir tunggal yang sering mengandung pirenoid sentral. Kloroplas dapat menyimpan sejumlah besar β -karoten, yang membuatnya tampak oranye-merah. β -karoten tampaknya untuk melindungi organisme dari jangka panjang radiasi UV yang *D. salina* terpapar di lingkungan khasnya. *D. salina* hadir dalam berbagai bentuk dan simetri tergantung pada kondisi di lingkungannya saat ini.

Dunaliella salina memiliki potensi dan mudah dikultivasi di perairan Aceh. Terdapat beberapa spesies yang cocok dengan perairan Aceh. Namun, beberapa dari spesies tersebut lebih cocok digunakan untuk pakan ikan karena mengandung tingginya protein. Pemilihan *Dunaliella Salina* sebagai bahan baku dalam

penelitian ini karena *dunaliella salina* mengandung lipid yang cukup dan sesuai standar untuk pembuatan biodiesel. Meskipun lipid yang terkandung dalam *dunaliella salina* kecil dan belum dikembangkan di Aceh, *Dunaliella Salina* sering diabaikan karena memiliki kandungan lipid yang relatif lebih sedikit dari mikroalga yang lain.

Tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis rasio mol minyak yang terbaik untuk proses pembuatan biodiesel, mengkaji Persen katalis yang terbaik untuk menghasilkan karakteristik biodiesel dari minyak mikroalga dan mengkonversi asam lemak yang dihasilkan dari minyak mikroalga menjadi biodiesel sebagai bahan bakar alternatif.

2. Bahan dan Metode

Bahan dan peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain adalah minyak mikroalga jenis *Dunaliella Salina*, metanol 96%, aqudest, katalis basa kalium hidroksida (KOH), indikator *phenoftalein*, labu leher tiga 500 ml, *hot plate*, kondensor, Neraca Analisis, Oven, *Magnetic Stirrer*, Corong pemisah, piknometer *Oswald*, Viskometer, Stopwatch, cawan porselin dan buret.

Penelitian ini terdiri dari tiga tahapan yaitu proses pretreatment, reaksi transesterifikasi dan proses pemurnian. Variabel tetap pada penelitian ini yaitu massa minyak 50 gr, waktu reaksi selama 60 menit, Suhu 60°C dan Kecepatan Pengaduk 450 rpm. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu perbandingan minyak terhadap methanol 1:5, 1:6 dan 1:7 dengan persen Katalis KOH 2%, 4% dan 6% dan variabel terikat yaitu densitas biodiesel pada suhu 40°C, viskositas, kadar air, yield dan GC-MS (*Gas Chromatography – Spectrometry Mass*).

Pada proses treatment, dilakukan proses perhitungan kadar FFA dengan cara minyak *Dunaliella Salina* diambil 5 gr kemudian ditambahkan dengan methanol teknis 98% sebanyak 10 ml. Ditambahkan indikator pp sebanyak 5 tetes dan dititrasi dengan KOH 0,1 N sebagai titran untuk menentukan kadar asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak dengan perubahan warna dari bening ke pink. Apabila kadar FFA minyak < 2% maka dilakukan proses esterifikasi.

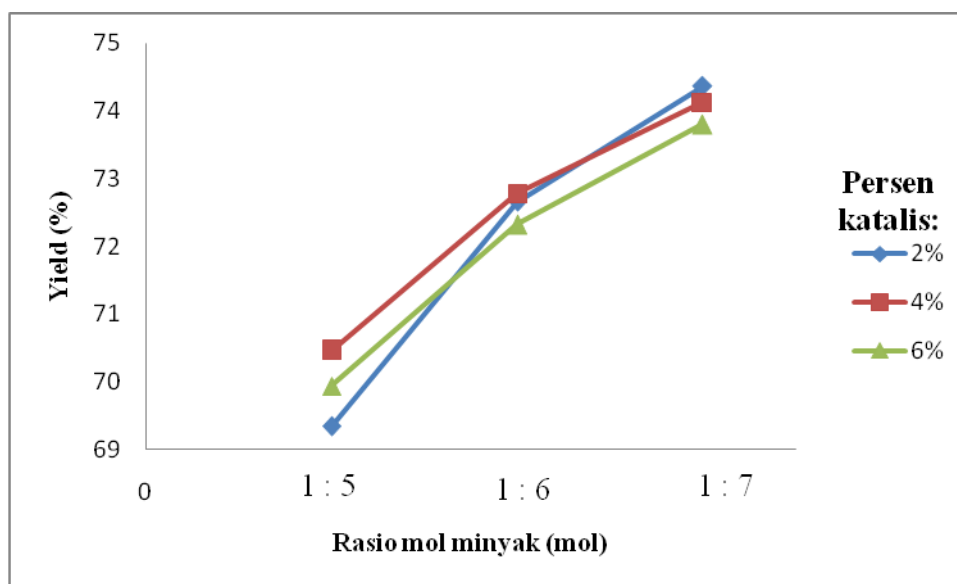
Proses transesterifikasi dilakukan dalam sebuah labu leher tiga pada suhu 60°C dengan pengadukan 450 rpm. Minyak dimasukkan ke dalam reactor dan dipanaskan minyak hingga mencapai suhu 60°C bersamaan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Metanol dan katalis KOH diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen. Dimasukkan campuran metanol dan katalis ke dalam minyak yang telah dipanaskan . dilakukan pemanasan dan pengadukan 450 rpm dengan waktu 60 menit dan kondisi operasi dijaga. Dilakukan proses dekantasi dengan *separator funnel* selama 24 jam. Bagian bawah berupa gliserol dibuang sedangkan bagian atas adalah metil ester.

Proses pemurnian dilakukan dengan proses *washing* dan *drying*. Metil ester pada fase atas *separator funnel* dipisahkan dengan gliserol. Ditambahkan *aquadest* yang telah dipanaskan di dalam *waterbath* pada suhu 50-60°C ke dalam *separator funnel* sebanyak 50 ml. larutan kemudian dikocok dan didiamkan hingga terbentuk dua lapisan. Metil ester yang terbentuk dibagian atas di dalam *separator funnel* dipisahkan dengan zat pengotor dibagian bawahnya, perubahan volume dicatat. Pencucian dilakukan beberapa kali hingga bagian bawah di dalam *separator funnel* berubah dari kuning keruh menjadi bening dengan mendekati pH netral. Proses *drying* pada metil ester dilakukan didalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam. Didinginkan dalam waktu 30 menit. Metil ester kemudian disaring dengan menggunakan corong. Metil ester hasil saringan disimpan dalam botol sampel.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Pengaruh Rasio Mol Minyak dan Persen Katalis Terhadap Yield Biodiesel

Yield merupakan perbandingan berat produk terhadap berat bahan baku. Pada penelitian ini digunakan katalis KOH dengan variasi 2%, 4% dan 6% dari massa minyak serta rasio mol minyak dengan variasi 1:5, 1:6 dan 1:7. Pengaruh rasio mol minyak serta persen katalis terhadap yield biodiesel yang dihasilkan dapat dilihat dari Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Pengaruh rasio mol minyak-metanol dan persen katalis terhadap yield biodiesel

Pada Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa semakin besar rasio mol reaktan (minyak: metanol) maka semakin besar pula yield biodiesel. Dengan menggunakan metanol berlebih maka reaksi dapat digeser ke kanan (ke arah pembentukan produk) untuk menghasilkan konversi yang maksimum. Hal ini dikarenakan pemakaian salah satu reaktan yang berlebih akan memperbesar kemungkinan tumbukan antara molekul zat yang bereaksi sehingga kecepatan reaksinya bertambah besar (Ristianingsih et al., 2016). Rasio mol minyak-alkohol juga berpengaruh terhadap distribusi katalis di antara lapisan alkil ester dan gliserol. katalis lebih tertarik ke dalam gliserol, sedangkan dengan penggunaan metanol berlebih, katalis akan terdistribusi merata dalam lapisan alkil ester dan gliserol (Rofik & Nurhayati., 2017).

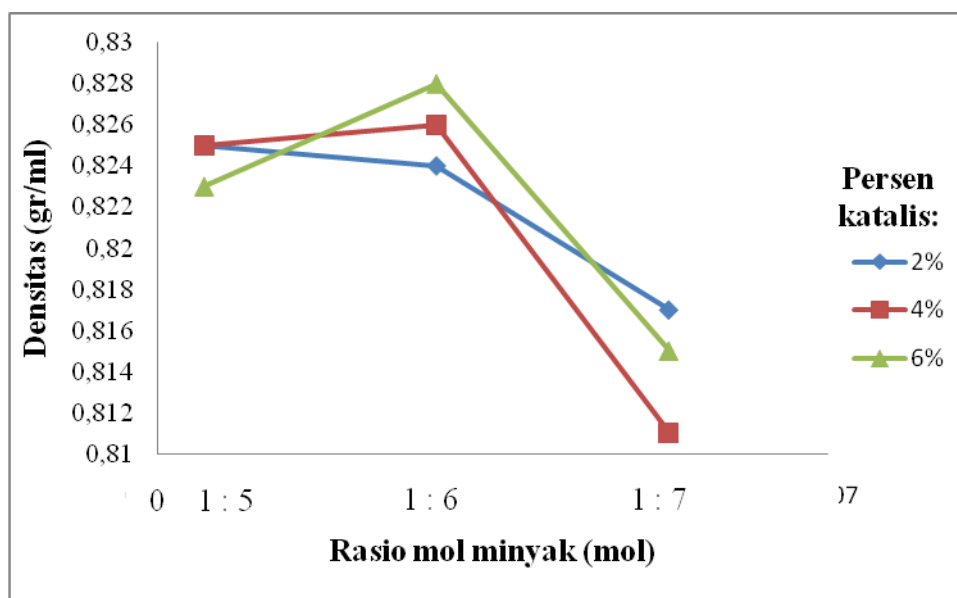
Gambar 3.1 juga menunjukkan bahwa semakin besar berat katalis maka semakin besar pula yield biodiesel pada rasio reaktan tetap. Dengan penambahan jumlah katalis akan meningkatkan kecepatan reaksi sehingga yield biodiesel yang dihasilkan meningkat. Hal ini disebabkan karena dengan besarnya jumlah katalis akan semakin menurunkan energi aktivasi sehingga meningkatkan jumlah molekul yang teraktifkan yang mengakibatkan kecepatan reaksi meningkat (Aziz, 2011). Katalis berfungsi mempercepat reaksi dengan menurunkan energi aktivasi, namun tidak mempengaruhi letak kesetimbangan. Selain itu, penggunaan katalis

basa dalam jumlah banyak dapat menetralkan asam lemak bebas di dalam trigliserida. Sehingga, semakin banyak jumlah katalis basa yang digunakan, maka metil ester yang terbentuk akan semakin banyak (Tri Lestari et al., 2017). Penambahan katalis pada perbandingan rasio mol 1:7 terjadi penurunan yield biodiesel yang dihasilkan dan menyebabkan terbentuknya emulsi. Emulsi yang terbentuk disebabkan oleh reaksi penyabunan yang terjadi akibat penggunaan katalis yang berlebihan. Reaksi penyabunan tersebut akan mengambil sejumlah metil ester yang telah terbentuk. Sehingga akan mengurangi perolehan biodiesel serta menyulitkan dalam pemisahan biodiesel (Yoeswono et al., 2008).

Hasil pada penelitian ini berdasarkan Gambar 3.1 adalah pada katalis 2% dari rasio mol minyak-methanol yaitu 1:7 menghasilkan yield tertinggi sebesar 74,36%, sedangkan pada katalis 4% yaitu biodiesel dari rasio minyak-metanol yaitu 1:7 menghasilkan yield tertinggi sebesar 74,13% dan pada katalis 6% dari rasio minyak-metanol yaitu 1:7 menghasilkan yield tertinggi sebesar 73,8%, terlalu banyak jumlah katalis yang berlebih akan menghambat pemisahan gliserol dari lapisan metil ester yang menyebabkan gliserol menurun dan harus dioptimalkan untuk menghindari pembentukan sabun, karena dapat menyebabkan dua masalah yaitu pengurangan yield biodiesel dan masalah pemisahan biodiesel dengan gliserol.

3.2 Pengaruh Rasio Mol Minyak dan Persen Katalis Terhadap Densitas (gr/ml)

Densitas atau massa jenis menunjukkan perbandingan berat persatuan volume. Densitas bertujuan untuk menentukan massa jenis suatu zat. Hal ini dikarenakan setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Pengaruh rasio mol minyak-metanol serta persen katalis terhadap densitas dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengaruh Rasio Mol Minyak-Metanol dan Persen Katalis Terhadap Densitas

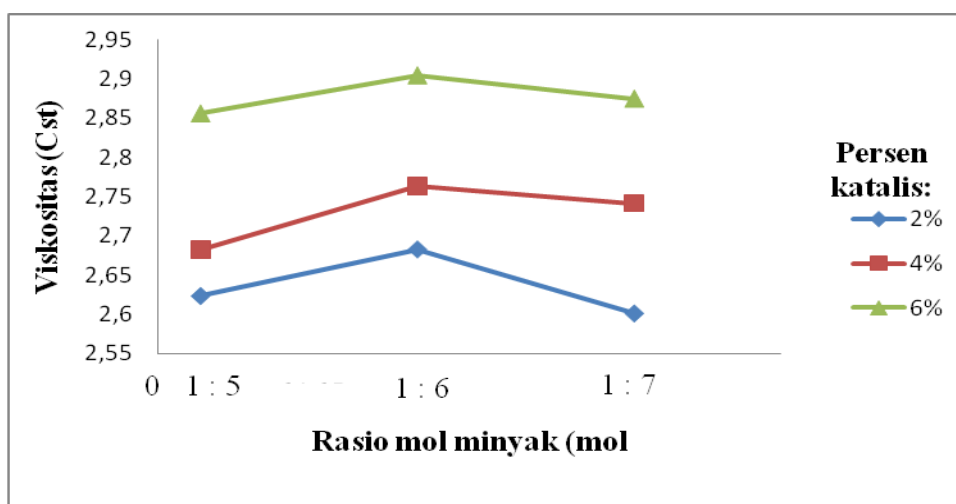
Pada Gambar 3.2 di atas dapat dilihat bahwa densitas yang tertinggi terdapat pada katalis 2% dari massa minyak dan pada biodiesel dari minyak mikroalga menggunakan waktu reaksi yang sama untuk semua reaksi yaitu 1 jam pada suhu 60°C dengan rasio mol minyak-methanol 1:6 pada penelitian ini sebesar 0,828, angka ini hampir mendekati Standar Nasional Indonesia tentang densitas biodiesel yaitu 0,850-0,890 dan angka densitas terendah didapatkan oleh biodiesel yang dihasilkan dari minyak mikroalga sebesar 0,811 dengan katalis 4%.

Dari penelitian diatas tidak didapatkan angka yang sesuai dengan SNI yang mana dalam standar densitas SNI biodiesel yaitu pada range 0,85-0,89 gr/cm³. Hal ini bisa dikarenakan kurang sempurnanya proses distilasi sehingga masih terdapat kandungan methanol dan air didalam biodiesel tersebut. Semakin banyak jumlah katalis yang digunakan pada pembuatan biodiesel, maka semakin besar densitas dari produk biodiesel yang dihasilkan namun jumlah katalis basa yang lebih banyak dapat mendorong terjadinya reaksi penyabunan (Irawan et al., 2019). Hal ini juga dapat menimbulkan zat-zat sisa atau pengotor dari reaksi yang tidak terkonversi menjadi metil ester akan menyebabkan densitas metil ester

semakin besar. Penggunaan katalis basa yang lebih sedikit akan menghasilkan metil ester dengan densitas yang lebih rendah.

3.3 Pengaruh Rasio Mol dan Persen Katalis terhadap Viskositas (mm^2/s)

Viskositas merupakan faktor penting dalam biodiesel karena menurut Soetaredjo,dkk (2010) viskositas bahan bakar memberi pengaruh besar pada injector dan proses atomisasi bahan bakar. Jika viskositasnya terlalu kecil, bahan bakar tidak mampu menyediakan lubrikasi bagi pompa injeksi, namun jika viskositasnya terlalu tinggi akan menghasilkan tetesan-tetesan yang lebih besar sehingga dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Menurut Standard Nasional Indonesia (SNI 2019) viskositas yang masih dapat digunakan untuk bahan bakar berbasis biodiesel adalah 2,3 – 6,0 cSt. Pengaruh rasio minyak-metanol dan persen katalis terhadap viskositas dapat dilihat pada Gambar 3.3.



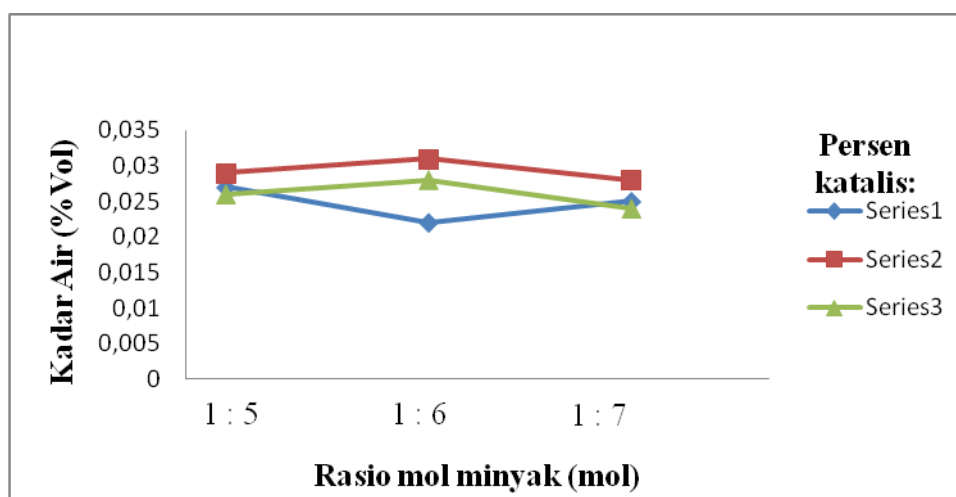
Gambar 3.3 Pengaruh Rasio Mol Minyak-Metanol dan persen Katalis terhadap Viskositas

Terlihat pada Gambar 3.3 berdasarkan nilai yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa massa katalis mempengaruhi nilai viskositas yang didapat. Semakin banyak jumlah katalis yang digunakan maka nilai viskositas yang dihasilkan semakin meningkat. Jumlah katalis basa yang lebih banyak mendorong terjadinya reaksi penyabunan. Hal ini dapat menimbulkan zat-zat sisa atau pengotor dari reaksi yang tidak terkonversi menjadi metil ester akan menyebabkan

viskositas metil ester semakin besar. Penggunaan katalis basa yang lebih sedikit akan menghasilkan metil ester dengan viskositas yang lebih rendah (Retnaningtyas et al., 2019)

3.4 Pengaruh Rasio Mol dan Persen Katalis Kadar Air pada Biodiesel (%vol)

Kadar air dalam biodiesel merupakan salah satu tolak ukur mutu biodiesel. Kadar air dan sedimen biodiesel yang dihasilkan standarnya dibawah 0,035%. Keberadaan kandungan air dalam biodiesel dapat menyebabkan korosi dan pertumbuhan mikroorganisme yang juga dapat menyumbat aliran bahan bakar. Sedimen dapat menyebabkan penyumbatan dan kerusakan mesin (Indantono, (2006). Pengaruh perbandingan minyak mikroalga *Dunaliella Salina* serta persen katalis terhadap viskositas dapat dilihat pada Gambar 3.4.



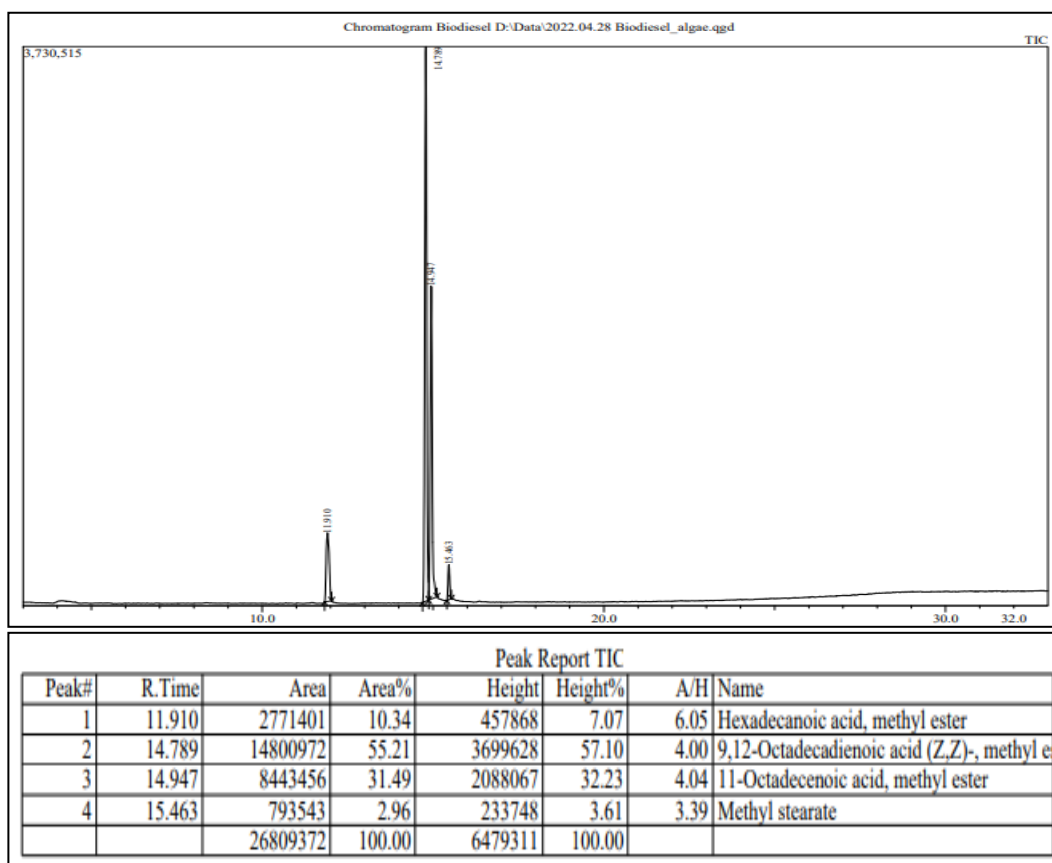
Gambar 3.4 Pengaruh Rasio Mol Minyak-Metanol dan persen Katalis terhadap Kadar Air

Kandungan kadar air biodiesel dapat mempengaruhi kualitas biodiesel. Biodiesel berkualitas tinggi memiliki kandungan air yang rendah. Menurut Standar Nasional Indonesia (2019), batas maksimal kadar air pada biodiesel adalah 0,035%. Kadar kandungan air yang dihasilkan rata-rata memenuhi SNI. Berdasarkan hasil uji nilai kadar air yang didapat tersebut dapat dilihat bahwa massa katalis mempengaruhi kadar air biodiesel, hasil yang didapatkan yaitu

kadar air pada masing-masing sampel biodiesel dengan variasi berat katalis tidak konstan yaitu cenderung turun-naik. Hal ini disebabkan oleh pemisahan dan pengeringan yang tidak sempurna.

3.5 Analisa Komposisi Senyawa Hidrokarbon dalam Biodiesel

Metil ester dari hasil transesterifikasi minyak *Dunaliella Salina* dengan rasio molar (minyak terhadap metanol 1:6 dengan katalis 1 gram (2% dari massa minyak). Metil ester yang diperoleh dari reaksi transesterifikasi selanjutnya dianalisis menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography - Spectrometry Mass*). Analisis ini menghasilkan puncak-puncak kromatogram yang masing-masing menunjukkan jenis metil ester yang spesifik. Hasil analisa senyawa metil ester dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Hasil Analisa Senyawa Biodiesel

Gambar 3.5 merupakan kromatogram analisis komposisi metil ester menggunakan GC-MS. Dari kromatogram menunjukkan bahwa metil ester pada

penelitian ini mengandung metil ester yang sesuai dengan asam-asam lemak yang terkandung dalam minyak *Dunaliella Salina*.

Berdasarkan hasil analisis GC-MS, Pengujian GC-MS menunjukkan komposisi yang tergantung dalam biodiesel yaitu *hexadecanoic acid* atau asam palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$) sebesar 10,34%, 9, 12 – *Octadecadienoic acid (Z, Z)*- atau asam linoleat ($C_{18}H_{30}O_2$) sebesar 55,21%, 11-*Octadecenoic acid* atau asam stearat ($C_{18}H_{36}O_2$) sebesar 31,49%, dan *methyl stearate* ($C_{19}H_{38}O_2$) sebesar 2,96%.

4. Simpulan dan Saran

Semakin banyak rasio mol minyak-metanol yang digunakan maka yield yang dihasilkan akan semakin tinggi. Dimana yield tertinggi diperoleh pada rasio minyak-metanol 1:7 dengan katalis 2% yaitu 74,36%. Hasil analisis kimia-fisika biodiesel meliputi; densitas yang diperoleh yaitu 0,828 gr/ml, viskositas yang diperoleh yaitu 3,53 Cst, dan kadar air yang diperoleh yaitu 0,22% vol. Berdasarkan hasil analisis kimia fisika yang diperoleh hampir mendekati Standar Nasional Indonesia (SNI), dimana SNI densitas yaitu 0,86 gr/ml, viskositas yaitu 2,3-6 Cst , dan kadar air yaitu 0,2% vol.

Diharapkan pada penelitian selanjutnya agar dapat menganalisa semua komposisi yang terkandung didalam biodiesel dan dapat mencoba kembali dengan menggunakan bahan baku lain yang memiliki kandungan asam lemak yang lebih banyak.

5. Daftar Pustaka

1. Arita, S., Dara, M. B. dan Irawan, J. (2008). Pembuatan Metil Ester Asam Lemak dari CPO Off Grade dengan Metode Esterifikasi-Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 15, 34-43.
2. Aziz, I. (2011). Laporan Penelitian Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas. Jakarta: Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah.
3. Christy. (2005). *Produksi Biodiesel dari Mikroalga Chlorella Sp Dengan Metode Esterifikasi In-situ*. Universitas Sumatera Utara, 5–16.

4. Dharsono, W. dan Oktari, Y. S. (2013). Proses Pembuatan Biodiesel dari Dedak dan Metanol dengan Esterifikasi In Situ. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2, 33-39.
5. Encinar, J. M., Gonzales, J. F., Rodriguez, J. J. dan Tejedor, A. (2002). Biodiesel Fuels from Vegetable Oil: Transesterifikasi of *Cyanara Cardunculus* L. Oils with Ethanol. *Energy Fuels*, 16, 443-450
6. Irawan, D., Arifin, Z., Fitriyana, Olivia, C., & Nopal, M. (2019). *Pengaruh Rasio Metanol Dan KOH Pada Proses Pembuatan Biodiesel Dengan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Perak*. *Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Industri*, Februari, 268–272.
7. Nilawati, Destya, 2012. Laporan Skripsi “*Studi Awal Sintesis Biodiesel dari Lipid Mikroalga Chlorella vulgaris Berbasis Medium Walne Melalui Reaksi Esterifikasi dan Transesterifikasi*”. Fakultas Teknik Universitas Indonesia Depok.
8. Prihandana, 2006, *Menghasilkan Biodiesel Murah dan Mengatasi Polusi Kelangkaan BBM*”, Agromedia Pustaka : Jakarta.
9. Yoeswono, Sibarani, J. dan Khairi, S. (2008). Pemanfaatan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Katalis Basa pada Reaksi Transesterifikasi dalam Pembuatan Biodiesel. PKMI 2008.