

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan jumlah penduduk pada tahun 2021 sebesar 271 juta jiwa (IEA, 2021), sehingga membuat Indonesia menjadi negara dengan pemakaian energi yang sangat besar. Dikutip data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), total konsumsi energi di Indonesia mengalami kenaikan pada tahun 2022 sebesar 28,31% atau 1,18 miliar barel setara minyak (*Barrel Oil Equivalent/BOE*) dibandingkan dengan tahun sebelumnya berkisar 924,2 juta BOE (Widi, 2023). *Databoks* tahun 2021 mengatakan bahwa, sektor-sektor yang menyumbang penggunaan energi terbesar didominasi oleh sektor transportasi yang mencapai 388,42 juta BOE, sektor industri sebesar 317,57 juta BOE dan sektor rumah tangga sebesar 148,99 juta BOE. Angka-angka tersebut terdiri atas konsumsi energi jenis bensin, solar, biodiesel, listrik, batu bara, gas alam, biogas, biomassa, briket, dan LPG. Adapun porsi konsumsi energi nasional tahun 2021 terbesar yaitu bensin yang mencapai 25,95% dan disusul oleh solar yang mencapai 21,34%. Dari data-data tersebut, bensin dan solar akan semakin cepat habis ketersediaannya jika tidak dikelola dengan baik.

Ketersediaan bahan bakar minyak semakin hari semakin berkurang, sedangkan kebutuhan akan bahan bakar terus meningkat. Aktivitas sehari-hari tentunya menggunakan bahan bakar yang begitu besar, seperti keperluan rumah tangga, transportasi, mesin, maupun pembangkit listrik. Penggunaan cadangan sumber daya alam terus saja berjalan hingga tidak disadari telah terjadi pemborosan yang mengurangi ketersediaan sumber daya alam itu sendiri. Tidak dapat dipungkiri, bahwa suatu ketika cadangan bahan bakar minyak (seperti mesin diesel) akan terkuras habis. Menyikapi kondisi tersebut, Pemerintah mengeluarkan Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 mengenai Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Instruksi Presiden Nomor 1 Tahun 2006 tentang penyediaan bahan bakar nabati sebagai bahan bakar lain di Indonesia yaitu biodiesel (Hartono, dkk., 2022).

Biodiesel merupakan mono-alkil ester yang berasal dari asam lemak minyak nabati atau lemak hewani sehingga ramah lingkungan. (Dimawarmita, dkk., 2021). Biodiesel dihasilkan dari proses esterifikasi-transesterifikasi yang dibantu dengan katalis basa homogen seperti NaOH dan KOH. Penggunaan katalis basa memudahkan untuk terjadinya proses transesterifikasi. Namun, katalis basa pada umumnya merusak peralatan dan bereaksi dengan asam lemak bebas pada pembentukan sabun yang tidak diinginkan oleh produk. Katalis asam homogen tidak tahan pada temperatur tinggi dan sulit untuk didaur ulang, menimbulkan masalah



korosi. Sehingga, akhir-akhir ini pengembangan katalis heterogen in karena pemisahan yang mudah dan kurangnya masalah korosi. s basa heterogen yang dilirik adalah Kalsium Oksida (CaO) dengan ang tinggi, tidak beracun, dan kelarutan rendah dalam biodiesel. lapat diperoleh melalui limbah alami seperti cangkang telur ayam mingsih, 2022).

Biodiesel yang berasal dari limbah minyak ikan mempunyai kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan produk tumbuhan. Limbah ikan di Indonesia menjadi salah satu perkara yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah limbah ikan lele. Limbah ikan lele yang tidak diolah dengan baik akan menyebabkan terjadinya pencemaran berupa bau busuk akibat proses dekomposisi protein ikan. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan menjadikan limbah ikan sebagai bahan dasar pembuatan biodiesel.

Pemanfaatan limbah ikan lele sebagai bahan baku pembuatan biodiesel perlu dilakukan sebagai solusi dalam menangani sumber daya alam yang terus berkurang setiap harinya. Oleh karena itu, penulis akan melakukan penelitian dengan judul Efek Penambahan Limbah Cangkang Telur Ayam (CaO) Sebagai Katalis Basa Pada Pembuatan Biodiesel Berbahan Dasar Limbah Lele Melalui Proses Esterifikasi-Transesterifikasi.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan diteliti pada tugas akhir ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu, temperatur, persentase katalis dan campuran bahan bakar terhadap densitas, viskositas dan nilai kalor?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu, temperatur, persentase katalis dan campuran bahan bakar terhadap karakteristik bahan bakar yaitu dimensi api, temperatur nyala api, *ignition delay* dan *burning rate*?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian pada tugas akhir ini yaitu :

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi waktu, temperatur, persentase katalis dan campuran bahan bakar terhadap densitas, viskositas dan nilai kalor
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi waktu, temperatur, persentase katalis dan campuran bahan bakar terhadap karakteristik bahan bakar yaitu dimensi api, temperatur nyala api, *ignition delay* dan *burning rate*

1.4 Batasan Masalah

Dikarenakan banyaknya kemungkinan variabel yang dapat mempengaruhi tugas akhir ini, maka penelitian ini dibatasi agar mendapatkan hasil yang lebih terfokus pada keadaan tertentu. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Katalis yang digunakan pada proses esterifikasi merupakan katalis asam yaitu



ele yang digunakan pada produksi biodiesel berupa isi perut, irip.

lan waktu pada proses esterifikasi yaitu 60oC selama 1 jam.

4. Penggunaan metanol pada proses esterifikasi dan transesterifikasi sebesar 15% dari volume minyak.
5. Penggunaan H₂SO₄ pada proses esterifikasi yaitu 0.3% dari volume minyak dan konsentrasi H₂SO₄ adalah 90%
6. Pengujian menggunakan chamber sederhana dan tidak dilakukan di mesin diesel TV-1

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Bagi Penulis
Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bagi Universitas
Dapat dijadikan sebagai rujukan bagi generasi selanjutnya dalam penelitian yang berkaitan dengan produksi biodiesel berbahan dasar minyak hewani.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ikan Lele

Ikan lele adalah salah satu jenis ikan air tawar yang sering dibudidayakan di Indonesia. Dikutip dari (Liswahyuni, Mappamireng, & Ayyun, 2021), klasifikasi ikan lele yaitu:

Kingdom : Animalia
 Filum : Chordata
 Kelas : Pisces
 Ordo : Siluriformes
 Famili : Clariidae
 Genus : Clarias
 Spesies : Clarias gariepinus



Gambar 1. Ikan lele

Sumber : (Liswahyuni, Mappamireng, & Ayyun, 2021)

Ikan lele merupakan salah satu komoditas budidaya yang memiliki berbagai kelebihan, diantaranya adalah pertumbuhan cepat dan memiliki kemampuan beradaptasi terhadap lingkungan yang tinggi. Sehingga, konsumsi ikan lele dari tahun ke tahun cenderung meningkat. Kandungan gizi pada ikan lele sangat tinggi protein dan berbagai kebutuhan gizi lainnya. Lele utuh mengandung 12,82% protein, 3,70% lemak, 2,70% abu, 2,60% karbohidrat, dan 5,59% kalsium. Selama ini ikan lele masih dipasarkan dalam bentuk segar/hidup dan sebagiannya lagi diolah untuk di salai. Limbah atau hasil samping ikan lele yang jarang dimanfaatkan adalah isi perut, limbah tersebut jika ditumpuk tumpuk akan mengalami pembusukan yang dapat menimbulkan gas beracun seperti asam sulfida (H_2S), amoniak (NH_3), dan gas metan. Gas-gas tersebut jika melebihi NAB (50 ppm) dapat mengakibatkan orang menjadi mabuk dan pusing, selain itu dapat merusak permukaan tanah dan kualitas air disekitarnya. Hasil samping isi perut ikan lele dapat dimanfaatkan dengan cara pengolahan sehingga menghasilkan minyak ikan (Purity, 2022).

Dalam penelitiannya, (Gunawan, et al., 2014) menyatakan bahwa hasil ekstraksi



dan badan ikan lele diperoleh rata-rata kadar minyak kepala yaitu gkan kadar minyak badan sebesar 15,94% yang didapatkan dari epala 257,19 g dan badan 201,28 g. Perbedaan kadar minyak yang engaruhi oleh adanya perbedaan kadar air pada kepala dan badan tinggi kadar air yang terdapat pada sampel maka semakin kecil ya.

2.2 Cangkang Telur

Telur merupakan salah satu jenis makanan yang cukup populer bagi masyarakat Indonesia. Makanan ini digemari karena dapat diolah menjadi berbagai jenis sajian makanan serta dapat dikonsumsi baik oleh anak kecil maupun orang dewasa. Selain itu, telur juga dapat dibeli dengan harga murah sehingga dapat dinikmati setiap kalangan masyarakat mulai dari kelas bawah sampai kelas atas (Aziz, et al., 2018). Dikutip data dari Badan Pusat Statistik Indonesia (BPS), rata-rata konsumsi telur ayam Indonesia pada tahun 2022 mencapai 2,336 kg per kapita per minggu, yang berarti dalam 1 tahun masyarakat Indonesia mengonsumsi telur ayam ±112 kg. Artinya akan terdapat cukup banyak limbah dari cangkang telur yang terdapat di Indonesia setiap tahunnya.



Gambar 2. Limbah cangkang telur ayam
Sumber : (Muhammad & Dewi, 2020)

Tidak seperti telur, cangkang telur biasanya hanya dibuang begitu saja ke tempat-tempat pembuangan sampah. Cangkang telur merupakan lapisan keras yang melindungi telur dari kondisi lingkungan sekitar. Cangkang ini berbentuk keras serta memiliki kandungan kalsium yang cukup tinggi. Sayangnya selama ini manfaat cangkang telur masih jarang bahkan tidak begitu diperhatikan sama sekali (Aziz, et al., 2018). Telah diketahui bahwa CaO , umumnya didapatkan dari dekomposisi termal CaCO_3 , yang berguna sebagai katalis dalam reaksi transesterifikasi. Terkait hal tersebut, CaCO_3 bisa dengan mudah didapatkan dari industri pembuangan seperti cangkang telur, tiram, dan kerrang (Risso, Ferraz, Meireles, Fonseca, & Vital, 2018).

Cangkang telur ayam mengandung senyawa kalsium karbonat (CaCO_3) sebanyak 90,9%. Cangkang telur juga memiliki struktur selulosa dan mengandung asam amino. Pada proses pembuatan biodiesel dengan katalis CaO ini dapat dibuat melalui proses kalsinasi CaCO_3 sehingga CaO yang didapatkan akan memiliki tingkat kemurnian cukup tinggi (Syahputri & Broto, 2020).



Gambar 3. Skema proses kalsinasi cangkang telur ayam
Sumber : (Abdilah & Hulupi, 2020)

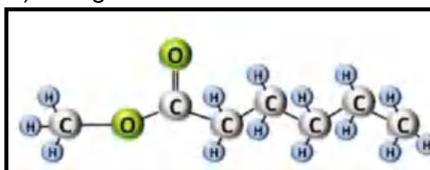




Gambar 4. Hasil kalsinasi limbang cangkang telur
Sumber : (Malau & Adinugraha, 2020)

2.3 Biodiesel

Biodiesel merupakan salah satu alternatif bahan bakar minyak yang dapat diperoleh dari lemak tumbuhan dan hewan. Biodiesel merupakan monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel (Trisnaliani, Zubaidah, & Moulita, 2017). Menurut (Basu, 2021), biodiesel didefinisikan sebagai rantai panjang monoalkil ester asam lemak yang berasal dari biolipid. Biasanya diproduksi melalui reaksi dari minyak nabati dan lemak hewani dengan penambahan metanol atau etanol serta adanya katalis untuk menghasilkan metil atau etil ester (biodiesel) dan gliserin.



Gambar 5. Struktur kimia metil ester biodiesel
Sumber : (Basu, 2021)

Biodiesel dapat disintesis melalui transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa dan melalui esterifikasi dengan menggunakan katalis asam (Rezeika, 2017). Kandungan utama dari biodiesel adalah alkil ester asam lemak yang dihasilkan dari trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani melalui reaksi transesterifikasi dengan alkohol, biasanya yang digunakan adalah metanol dan etanol. Hasilnya adalah suatu bahan bakar yang tidak berbeda karakteristiknya dengan bahan bakar diesel fosil.

Bahan bakar biodiesel bersifat ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas buang jauh lebih baik dibandingkan dengan diesel atau solar, yaitu bebas sulfur, bilangan asap (*smoke number*) yang rendah, memiliki *octane number* yang lebih tinggi sehingga pembakaran lebih sempurna (*clear burning*), memiliki sifat pelumasan terhadap piston mesin, dan dapat terurai (*biodegradable*) sehingga ilkan racun (*non toxic*) (Umami, 2015).





Gambar 6. Biodiesel
Sumber : (Rezeika, 2017)

2.4 Biodiesel Minyak Hewani

Bahan baku pembuatan biodiesel umumnya dapat diperoleh dari minyak atau lemak nabati maupun hewani. Minyak nabati yang dapat dikonsumsi banyak digunakan untuk sintesis biodiesel dikarenakan sumber minyak nabati mudah diperoleh, dapat diperbarui (*renewable*), nontoksik dan dapat diurai secara alami. Kekurangan minyak nabati yang tidak dapat dikonsumsi adalah minyak ini dapat mengandung kadar asam lemak bebas yang tinggi sehingga dibutuhkan tahapan bertingkat untuk memproduksi biodiesel dengan *yield* yang besar. Hal ini dapat meningkatkan biaya produksi biodiesel (Rezeika, 2017).

Disamping itu, menurut (Mastori, 2010) minyak dari hewan juga sering dimanfaatkan sebagai bahan baku dari pembuatan biodiesel yang ramah lingkungan, salah satunya adalah minyak limbah ikan. Akan tetapi, minyak hewani adalah triester asam-asam lemak dengan metanol. Perbedaan wujud molekuler ini memiliki beberapa konsekuensi penting dalam penilaian keduanya sebagai pilihan bahan bakar mesin diesel, yaitu:

- 1) Minyak hewani (trigliserida) memiliki berat molekul besar dibandingkan biodiesel (metil ester), akibatnya trigliserida relatif mudah mengalami perengkahan (*cracking*) menjadi aneka molekul kecil serta dapat terpanaskan tanpa kontak dengan udara (oksigen).
- 2) Minyak hewani memiliki kekentalan (viskositas) lebih tinggi dari minyak diesel/solar maupun biodiesel, sehingga pompa penginjeksi bahan bakar di dalam mesin diesel tak mampu menghasilkan pengkabutan (*atomization*) yang baik ketika minyak hewani disemprotkan ke dalam ruang pembakaran.
- 3) Struktur molekul minyak hewani lebih bercabang dibanding asam-asam lemak metil ester, akibatnya angka setana minyak hewani lebih rendah daripada angka setana metil ester. Angka setana adalah tolak ukur kemudahan menyala (*flash point*) suatu bahan bakar di dalam mesin diesel.

Menurut (Martinez, et al., 2022) limbah lemak hewani merupakan bahan yang potensial untuk sintesis biofuel karena sifatnya yang terbarukan, nilai kalor yang baik, rendah sulfur, dan nol korosifitas. Sumber utama lemak hewani adalah lemak ikan, unggas dan lain-lain.



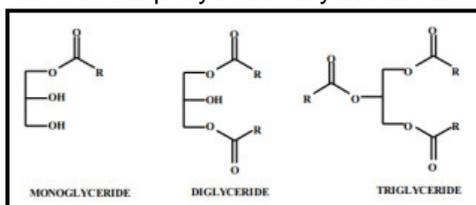
a
Minyak hewani dan lemak adalah triester dari gliserol, yang dinamakan trigliserida. Sumber utama minyak dan lemak adalah trigliserida yang merupakan ester

dari gliserol dan asam lemak rantai panjang. Trigliserida atau triasilgliserol adalah sebuah gliserida yaitu ester dari gliserol dan tiga asam lemak, penyusun utama minyak nabati atau lemak hewani adalah trigliserida, monogliserida dan digliserida. Rumus kimia trigliserida adalah $\text{CO}_2\text{COOR}-\text{CHOR}'-\text{CH}_2-\text{COOR}''$, dimana R, R' dan R'' masing-masing adalah sebuah rantai alkil yang panjang atau asam lemak jenuh dan tak jenuh dari rantai karbon.

Apabila terdapat dua gugus alkohol dari gliserol yang mengikat gugus asetil dan terdapat satu gugus alkohol maka esternya dinamakan digliserida, dan jika hanya ada satu gugus alkohol pada gliserol yang mengikat gugus asetil asam lemak dan dua gugus alkohol lainnya bebas, esternya dinamakan monogliserida (Umami, 2015).

Gliserida sederhana adalah senyawa ester asam lemak dengan gliserol, terdiri dari: triasilgliserol (TAG) atau trigliserida (TG), diasilgliserol (DAG) atau digliserida (DG) dan monoasilgliserol (MAG) atau monogliserida (MG). Trigliserida merupakan senyawa ester 3 asam lemak netral (tidak ada muatan + dan -). Trigliserida bersifat hidrofobik (nonpolar), terdiri dari TG sederhana (tristearin, tripalmitin, triolein) dan TG campuran yang asam-asam lemak penyusunnya berbeda, bisa disabunkan oleh basa (KOH dan NaOH) (Murhadi, 2009).

Menurut (Destianna, dkk., 2007) trigliserida adalah triester dari gliserol dengan asam-asam lemak, yaitu asam-asam lemak karboksilat berat atom karbon 6 s/d 30. Trigliserida banyak dikandung dalam minyak dan lemak, merupakan komponen terbesar penyusun minyak nabati.



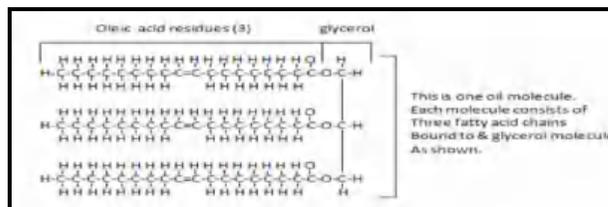
Gambar 7. Struktur molekul monogliserida, digliserida dan trigliserida
Sumber : (Destianna, Zandy, Nazef, & Puspasari, 2007)

2.4.2 Asam Lemak Bebas (*Free Fatty Acid*)

Asam lemak bebas adalah asam lemak yang terpisahkan dari trigliserida, digliserida, monogliserida, dan gliserin bebas. Hal ini disebabkan oleh pemanasan dan terdapatkan air sehingga terjadi proses hidrolisis. Oksidasi juga dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas dalam minyak.

Dalam proses konversi trigliserida menjadi alkil esternya melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis basa, asam lemak bebas harus dipisahkan atau menjadi alkil ester terlebih dahulu karena asam lemak bebas akan menjadi katalis. Kandungan asam lemak bebas dalam biodiesel akan mempengaruhi terbentuknya suasana asam yang dapat mengakibatkan korosi pada bahan bakar, membuat filter tersumbat dan terjadi sedimentasi. Pemisahan atau konversi asam lemak bebas ini dinamakan tahap pra-pemurnaan (Destianna, Zandy, Nazef, & Puspasari, 2007).





Gambar 8. Struktur asam lemak bebas

Sumber : (Destiana, Zandy, Nazef, & Puspasari, 2007)

Salah satu penelitian yang dilakukan oleh (Kalapathy & Proctor, 2000) terkait kandungan asam lemak bebas pada minyak goreng. Dalam penelitiannya, pembentukan asam lemak bebas terjadi selama proses penggorengan yang diakibatkan oleh proses hidrolisis pada temperatur pemanasan $\pm 150\text{-}200^\circ\text{C}$. Salah satu penyebab meningkatnya kadar asam lemak bebas pada minyak adalah kerusakan morfologi dan mikroorganisme. Mikroorganisme menghasilkan enzim lipase yang berfungsi sebagai biokatalisator reaksi hidrolisis minyak menghasilkan gliserol dan asam lemak bebas (Maimun, Arahman, Hsb, & Rahayu, 2017).

2.5 Standar Mutu Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang ditujukan untuk mesin diesel yang tentunya mudah digunakan dan ramah lingkungan. Standar mutu biodiesel telah dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) dengan nomor SNI 7182:2015 sebagai tetapan terbaru yang telah merevisi SNI 7182:2012-Biodiesel. Standar mutu biodiesel tersebut dapat dilihat dari **tabel 1** di bawah ini.

Tabel 1. Standar SNI Biodiesel

| No | Parameter Uji | Satuan, min/maks | Persyaratan | Metode Uji |
|----|--|------------------------------|-------------|------------------------------|
| 1 | Massa jenis pada 40°C | kg/m^3 | 850-890 | ASTM D 1298 atau ASTM D 4052 |
| 2 | Viskositas Kinematik pada 40°C | mm^2/s (cSt) | 2,3 - 6,0 | ASTM D 445 |
| 3 | Angka Setana | Min | 51 | ASTM D 613 atau ASTM D 6890 |
| 4 | Titik Nyala (mangkok tertutup) | $^\circ\text{C}$, min | 100 | ASTM D 93 |
| 5 | Titik kabut | $^\circ\text{C}$, maks | 18 | ASTM D 2500 |



Lanjutan Tabel 1

| No | Parameter Uji | Satuan, min/maks | Persyaratan | Metode Uji |
|----|--|----------------------------|-------------|--|
| 6 | Korosi Lempeng Tembaga (3 jam pada 50°C) | | nomor 1 | ASTM D 130 |
| 7 | Residu Karbon | % -massa, maks | | ASTM D 4530 atau ASTM D 189 |
| | - dalam per contoh asli, atau | | 0,05 | |
| | - dalam 10% ampas distilasi | | 0,3 | |
| 8 | Air dan Sedimen | % -vol, maks | 0,05 | ASTM D 2709 |
| 9 | Temperatur Distilasi 90% | °C, maks | 360 | ASTM D 1160 |
| 10 | Abu Tersulfatkan | % -massa, maks | 0,02 | ASTM D 874 |
| 11 | Belerang | mg/kg, maks | 100 | ASTM D 5453 atau ASTM D 1266 atau ASTM D 4294 atau ASTM D 2622 |
| 12 | Fosfor | mg/kg, maks | 10 | AOCS Ca 12-55 |
| 13 | Angka Asam | mg-KOH/g, maks | 0,5 | AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D664 |
| 14 | Gliserol Bebas | % massa, maks | 0,02 | AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584 |
| 15 | Gliserol Total | % massa, maks | 0,24 | AOCS Ca-56 atau ASTM D 6584 |
| 16 | Kadar Ester Metil | % -massa, min | 96,5 | |
| 17 | Angka Iodium | % -massa (g-12/100g), maks | 115 | AOCS Cd 1-25 |
| 18 | Kandungan Monogliserida | % -massa, maks | 0,8 | ASTM D 6584 |



$$(\% - massa) = \frac{100(A_s - A_a - 4,57G_{ttl})}{A_s} \quad (1)$$

- A_s = adalah angka penyabunan yang ditentukan dengan metode AOCS Cd 3-25. mg KOH/g biodiesel
- A_a = adalah angka asam yang ditentukan dengan metode AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D 664, mg KOH/g biodiesel
- G_{tit} = adalah kadar gliserol total dalam biodiesel yang ditentukan dengan metode AOCS Ca 14-56, %-massa

2.6 Teknik Pembuatan Biodiesel

Penggunaan sumber daya alam yang terus menerus membuat ketersediaan bahan baku mendekati kepunahan. Hadirnya biodiesel yang bersifat terbarukan, nontoksik dan ramah lingkungan atau dalam campuran dengan bahan bakar berbasis minyak bumi sangat menarik untuk dikembangkan. Biodiesel sebagai ester monoalkil dari asam lemak rantai panjang yang berasal dari minyak nabati atau hewani sudah sangat dipertimbangkan untuk digunakan. Berbagai cara dalam pembuatan biodiesel telah dikembangkan, baik secara konvensional maupun modern. Bahan baku yang digunakan juga sangat beragam seperti minyak kedelai, minyak lobak dan sumber minyak lainnya yang berasal dari tumbuh-tumbuhan maupun hewan. Produksi dari biodiesel melibatkan konversi minyak nabati atau lemak hewan menggunakan metanol atau etanol dan katalis untuk menghasilkan *Fatty Acid Methyl Esters* (FAMES) dan gliserin melalui proses yang disebut dengan esterifikasi dan transesterifikasi (Rokhum, Halder, Suttichai, & Ngaosuwana, 2022).

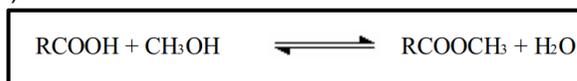
2.6.1 Esterifikasi

Esterifikasi merupakan reaksi pembentukan ester dengan reaksi langsung antara suatu asam karboksilat dengan suatu alkohol. Reaksi esterifikasi dipengaruhi beberapa variabel, salah satunya adalah katalis (Jaya, Hunga, Nikmah, & Susanti, 2019). Salah satu senyawa ester yang banyak dipakai adalah amil asetat dengan rumus kimia CH_3COOC_5H . Reaksi esterifikasi merupakan reaksi yang berjalan lambat sehingga membutuhkan katalis untuk menunjang kecepatan reaksi, baik dengan katalis homogen maupun heterogen. Katalis homogen yang biasa digunakan adalah asam sulfat, dikarenakan ion H^+ dari asam sulfat sebagai asam kuat mendorong asam karboksilat untuk terprotonasi sehingga reaksi dapat terjadi. Oleh karena itu asam sulfat memiliki aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis heterogen seperti resin atau zeolit (Fakhry & Rahayu, 2016).

Reaksi esterifikasi membentuk ester dengan mengkonversi asam lemak bebas yang terkandung dalam trigliserida menjadi metil ester dan hasil samping dari reaksi ini adalah terbentuk air. Hasil samping tersebut dapat diatasi dengan menambahkan metanol berlebih, air yang terbentuk akan larut dalam metanol menghambat proses reaksi (Sulaeman, Abas, & Papatungan, 2019). Untuk mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Katalis-katalis yang digunakan adalah zat yang berkarakter asam kuat. Esterifikasi biasa dilakukan untuk pembuatan biodiesel dari minyak berkadar asam lemak bebas tinggi. Pada tahap awal asam lemak bebas akan dikonversikan menjadi metil ester. Tahap esterifikasi



biasa diikuti dengan tahap transesterifikasi. (Destianna, Zandy, Nazef, & Puspasari, 2007).



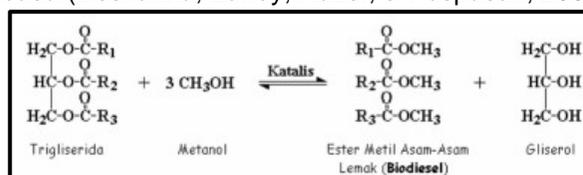
Gambar 9. Reaksi esterifikasi

Sumber : (Destianna, Zandy, Nazef, & Puspasari, 2007)

2.6.2 Transesterifikasi

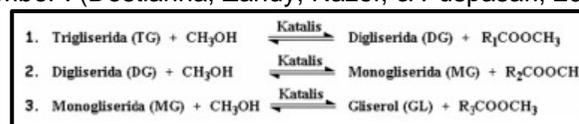
Transesterifikasi merupakan metode paling umum digunakan untuk memproduksi biodiesel dari minyak. Pada dasarnya proses transesterifikasi bertujuan untuk mengubah trigliserida, digliserida dan monogliserida yang mendominasi dan berviskositas tinggi menjadi metil ester asam lemak dimana metanol atau etanol menggantikan gliserin (Sulaeman, Abas, & Paputungan, 2019). Transesterifikasi adalah tahap konversi dari trigliserida menjadi alkil ester, melalui reaksi dengan alkohol dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol. Di antara alkohol-alkohol monohidrik yang menjadi pemasok gugus alkil, metanol adalah paling umum digunakan, karena harganya murah dan reaktifitasnya paling tinggi.

Reaksi transesterifikasi juga menggunakan katalis dalam reaksinya. Tanpa adanya katalis, konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan lambat. Katalis yang biasa digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis basa (Destianna, Zandy, Nazef, & Puspasari, 2007).



Gambar 10. Reaksi transesterifikasi

Sumber : (Destianna, Zandy, Nazef, & Puspasari, 2007)



Gambar 11. Tahapan reaksi transesterifikasi

Sumber : (Destianna, Zandy, Nazef, & Puspasari, 2007)

Reaksi ini cenderung lebih cepat membentuk metil ester dari pada reaksi esterifikasi yang menggunakan katalis asam. Namun, bahan baku yang akan digunakan pada reaksi transesterifikasi harus memiliki asam lemak bebas yang kecil (<2%) untuk menghindari pembentukan sabun (gliserin) (Umami, 2015).



ikan zat yang dapat mempercepat reaksi tanpa ikut terkonsumsi
an reaksi. Pada dasarnya, katalis justru harus ikut bereaksi dengan
membentuk suatu zat antara yang aktif. Zat antara ini kemudian
an molekul reaktan yang lain menghasilkan produk. Pada akhirnya,

produk kemudian terlepas dari permukaan katalis. Pada umumnya reaksi transesterifikasi dan esterifikasi merupakan reaksi lambat. Tanpa adanya katalis, proses pembuatan biodiesel dengan reaksi transesterifikasi hanya dapat menghasilkan konversi sebesar 85% setelah 10 jam reaksi pada suhu 235 °C dengan tekanan 62 bar (Umami, 2015).

Katalis merupakan senyawa yang ketika ditambahkan ke dalam suatu reaksi kimia untuk meningkatkan laju reaksi kimia tanpa ikut berubah secara kimia pada akhir reaksi. Katalis akan memberikan mekanisme reaksi alternatif dengan energi aktivasi yang lebih rendah dibandingkan dengan reaksi tanpa katalis. Berdasarkan jumlah fasa yang terlibat, proses katalitik dapat dibedakan menjadi katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen merupakan katalis yang memiliki fasa sama dengan reaktan atau zat pereaksi. Katalis heterogen merupakan katalis yang memiliki fasa berbeda dengan reaktan atau zat pereaksi (Agustina, Zahrida, & Sunarno, 2020).

2.7.1 Katalis Homogen

Katalis homogen seperti asam dan basa konvensional (H_2SO_4 , NaOH, KOH, dan $KOCH_3$) adalah katalis yang paling umum digunakan dalam produksi biodiesel. Keuntungan utama katalis ini adalah mudah didapatkan, *high activity*, dan kemampuannya dalam kondisi operasi ringan (temperatur dan tekanan rendah). Namun, kerugian penggunaan katalis ini adalah adanya produk sampingan berupa air (Kiakalaieh & Saidina, 2020). Katalis homogen dapat dibedakan menjadi katalis alkali dan katalis asam

Katalis Asam

Transesterifikasi dengan katalis asam biasanya memerlukan rasio alkohol terhadap trigliserida yang tinggi dan waktu reaksi yang lama untuk mencapai hasil biodiesel yang tinggi, keuntungan utamanya adalah hasil yang lebih baik diperoleh untuk minyak dengan FFA >1%, dibandingkan dengan katalis basa. Katalis asam sangat sensitif terhadap kadar air karena kadar air yang tinggi dapat menonaktifkan katalis dan mengurangi hasil produk. Singkatnya, esterifikasi FFA awalnya dilakukan dengan katalis asam untuk mengurangi kadar FFA hingga <1%, diikuti dengan transesterifikasi dengan katalis basa. Metode ini dapat menghilangkan masalah kesulitan pemisahan produk dan gliserol (Kiakalaieh & Saidina, 2020).

Katalis asam umumnya digunakan dalam proses pretreatment terhadap bahan baku minyak yang memiliki kandungan asam lemak bebas yang tinggi namun sangat jarang digunakan dalam proses utama pembuatan biodiesel.



am homogen seperti asam sulfat, bersifat sangat korosif, sulit r dari produk dan dapat ikut terbuang dalam pencucian sehingga at digunakan kembali sekaligus dapat menyebabkan terjadinya an lingkungan. Penggunaan katalis asam cair pada produksi seperti asam sulfat memerlukan temperatur tinggi dan waktu yang ami, 2015).

Katalis Basa (Alkali)

Katalis alkali (NaOH dan KOH) sering digunakan dalam produksi biodiesel secara komersial karena waktu reaksinya yang lebih singkat (sekitar 4000 kali lebih cepat dibandingkan katalis asam), biaya rendah, dan ketersediaannya. Katalis ini juga memerlukan kondisi reaksi ringan (misalnya rasio metanol terhadap minyak 6:1 dengan pemuatan katalis 1% pada 65°C) untuk mencapai hasil biodiesel sekitar 86–92%. Perlu dicatat bahwa ketika menggunakan katalis basa, kandungan FFA dalam bahan baku harus rendah untuk menghindari saponifikasi, yang dapat mengurangi hasil produk secara signifikan (Kiakalaieh & Saidina, 2020).

Laju reaksi transesterifikasi dengan n katalis basa lebih cepat jika dibandingkan dengan katalis asam. Karena dalam larutan basa, suatu karbonil dapat diserang langsung oleh nukleofilik tanpa protonasi sebelumnya. Kelemahan pada reaksi transesterifikasi berkatalis basa yaitu tidak dapat diterapkan untuk bahan baku minyak yang memiliki kandungan asam lemak bebas di atas 2%. Keberadaan asam lemak bebas yang tinggi akan menyebabkan terjadinya reaksi samping berupa reaksi penyabunan yang akan mengkonsumsi katalis sehingga menurunkan yield biodiesel, dan mempersulit proses pemisahan produk (Umami, 2015).

2.7.2 Katalis Heterogen

Transesterifikasi yang dikatalisis secara homogen memiliki keterbatasan tertentu seperti toleransi yang rendah terhadap FFA tinggi dan kandungan air, serta proses pemurnian produk yang kompleks. Namun, katalis heterogen telah terbukti efektif dan sesuai untuk produksi biodiesel komersial dalam skala besar dari bahan baku yang berbeda. Berbagai jenis katalis heterogen seperti resin penukar ion, oksida sulfat, oksida logam transisi, oksida logam alkali tanah, oksida logam campuran, katalis heterogen berbasis karbon, dan enzim telah digunakan dalam proses produksi biodiesel. Keuntungan utama katalis heterogen adalah toleransinya yang tinggi terhadap FFA dan air serta kemudahan pemisahan dan daur ulang.

Katalis heterogen untuk produksi biodiesel dapat dibagi menjadi dua kelas yaitu asam dan basa. Katalis asam padat dapat berpartisipasi secara bersamaan dalam proses esterifikasi dan transesterifikasi, sedangkan katalis basa padat biasanya digunakan untuk transesterifikasi. Masalah utama yang dilaporkan untuk katalis heterogen adalah keterbatasan perpindahan massanya karena katalis tersebut membentuk tiga fase dengan minyak dan alkohol. Penerapan pelarut seperti etanol, n-heksana, dan tetrahidrofur dapat mengatasi masalah massa dengan meningkatkan kemampuan larut minyak dan akhirnya, katalis heterogen dapat berasal dari limbah, biomassa atau sumber daya alam seperti cangkang telur, cangkang keong, dan lain-lain (Kiakalaieh & Saidina, 2020).



Tabel 2. Perbandingan katalis asam heterogen dan basa heterogen

| Katalis | Keuntungan | Kerugian |
|--|--|--|
| Resin penukar ion (Nafion, Amberlyst) | Aktivitas yang tinggi, regenerasi yang mudah | Ketahanan termal rendah, kemungkinan pencucian |
| TPA ($H_3PW_{12}O_{40}$) | Aktivitas yang tinggi | Larut dalam air |
| TPA-Cs ($Cs_{25}H_{0,5}PW_{12}O_{40}$) | Super asam | Aktivitas rendah per satuan berat |
| Zeolites (H-ZSM-5, Y dan beta) | Pengontrolan asam dan hidrofobitas | Ukuran pori kecil dan aktivitas renda |
| Metal Oksida Sulfat (zirconia, titania, tin oxide) | Aktivitas tinggi, temperatur stabil | Deaktivasi di air, tetapi bukan di fase organik |
| Niobik Oksida (Nb_2O_5) | Toleransi air | Reaksi waktu yang lama |
| Kalsium Oksida (CaO) | Temperatur rendah | Reaksi waktu yang lama |
| Kalsium Metoksida ($Ca(OMe)_2$) | Rendemen (<i>yield</i>) tinggi, waktu yang singkat | Perbandingan rasio yang tinggi |
| Lithium-zinc oksida yang didoping (ZnO) | Temperatur rendah | Reaksi waktu yang lama |
| KF dimuat pada Eu_2O_3 | Reaksi waktu yang singkat | Rendemen (<i>yield</i>) tidak sempurna |

Sumber : (Kiakalaieh & Saidina, 2020)

Katalis Asam

Kelebihan utama dari katalis asam heterogen adalah ketidakpekaan terhadap kandungan FFA, kemampuannya untuk mengkatalisis reaksi esterifikasi dan transesterifikasi secara bersamaan, daur ulang katalis yang sederhana, tanpa pencucian produk, rendemen produk yang tinggi, penggunaan katalis yang murah lingkungan, dan eliminasi atau reduksi korosi (Kiakalaieh & 2020). Katalis asam heterogen seperti Nafion, meskipun tidak katalis asam homogen dan dapat dipisahkan untuk digunakan cenderung sangat mahal dan memiliki kemampuan katalisis yang rendah dibandingkan dengan katalis basa (Umami, 2015).



Katalis Basa

Katalis basa padat heterogen umumnya lebih disarankan daripada katalis asam padat karena aktivitasnya. Ada berbagai oksida logam tunggal seperti MgO, CaO, SrO, dan BaO yang dapat digunakan untuk reaksi transesterifikasi katalis basa (Kiakalaieh & Saidina, 2020). Katalis basa heterogen seperti zeolit, SnCl₂, CaO, SnCl₂, ZrO₂, Al₂O₃ dan lain-lain. Memiliki kemampuan katalisator yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan katalis basa homogen, dapat menjadi alternatif yang baik dalam proses pembuatan biodiesel. Katalis basa heterogen dapat dengan mudah dipisahkan dari campuran reaksi sehingga dapat digunakan kembali. Namun, katalis heterogen menghasilkan konversi yang rendah tidak seperti katalis homogen yang dapat menghasilkan konversi yang lebih tinggi (Umami, 2015).

Tabel 3. Penerapan katalis basa heterogen pada produksi biodiesel

| Bahan Baku | Katalis | T°C (a) | MR (b) | C (wt%) (c) | t (jam) (d) | y (e) |
|--|---|------------|-----------|--------------------|-------------------|----------|
| Methyl soyate | Ruthenium | 40 | - | 0,1 | 2 | 46 |
| Minyak goreng | ZS/Si | 200 | 18:1 | 3 | 10 | 98 |
| Minyak <i>Jatropha curcas</i> | SiO ₂ (SO ₄ ²⁻ /SnO ₂ -SiO ₂) | 60-80 | 15:1 | 3 | 2 | 97 |
| Ethyl Propanoat dan ethylhexanoat | H ₂ SO ₄ , Amberlyst-15 dan zeolite HY dan H-beta) | 60 | 20:1 | 0,1 | 1 | 84 |
| Minyak bunga matahari/campuran metanol | Silika dengan gugus asam 4-etil-benzena sulfonat | 200 | 6:1 | 1,5 | - | - |
| Asam Palmitik | 30%HPW-ZrO ₂ | 60 | - | 0,3 ^(f) | 6 | 93 |

Sumber : (Kiakalaieh & Saidina, 2020)

*ket

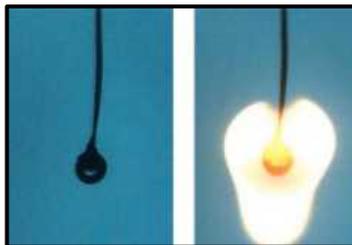
- a) Temperatur
- b) Rasio molar
- c) Katalis
- d) Waktu



f) Rasio molar antara berat katalis (0,3 g)

2.8 Pembakaran Droplet

Pembakaran dengan proses pertama pembuatan butiran bahan bakar cair dari fase cairan menjadi fase gas disebut atomisasi. Proses atomisasi dilakukan dengan mendorong cairan melalui nozzle yang menyebabkan cairan menjadi titik-titik kecil cairan bahan bakar yang kemudian disebut droplet. Pembakaran droplet digunakan dalam mesin pembakaran dalam dimana bahan bakar disemprotkan menjadikannya butir kecil bahan bakar cair agar pembakaran menjadi lebih efektif. Pada pembakaran droplet, bahan bakar dimasukkan ke dalam ruang bakar dan bercampur dengan udara secara alami. Saat droplet dipanaskan di ruang bakar menyebabkan bahan bakar menguap dan berdifusi dengan oksidator (udara) menuju flame front yang kemudian api terbentuk dari permukaan droplet sehingga dapat terbakar pada akhirnya (Hakim, 2018).



Gambar 12. Bentuk pembakaran droplet
Sumber : (Nam & Kim, 2022)

2.8.1 Karakteristik Pembakaran Droplet

Dalam penelitian (Hakim, 2018), karakteristik yang dapat diamati berupa :

1. *Ignition Delay*

Ignition delay adalah selang waktu dimana bahan bakar dimasukkan ke ruang bakar lalu dipanaskan sampai mulai pertama kali terjadi pembakaran. Pada pembakaran droplet, *ignition delay* adalah jeda mulai dari heater dinyalakan sampai bahan bakar terbakar.

2. *Burning Rate*

Burning rate adalah kecepatan suatu bahan bakar untuk terbakar hingga bahan bakar tersebut habis terbakar. Semakin tinggi nilai *burning rate* maka kecepatan pembakaran semakin cepat.

3. Dimensi Api

Dimensi api berperan dalam penentuan secara kasat mata apakah pembakaran yang terjadi nantinya merupakan pembakaran dengan reaksi yang cepat atau lambat. Apabila reaksi bahan bakar untuk terbakar semakin cepat maka dimensi api akan semakin kecil dan begitu juga sebaliknya, jika pembakaran lambat, maka api cenderung semakin panjang dan



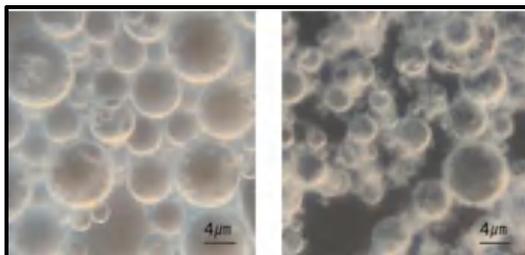
atur Nyala Api

atur pembakaran adalah temperatur tertinggi yang diukur saat pembakaran droplet. Nilai temperatur pembakaran dipengaruhi oleh

nilai kalor yang terkandung pada bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor maka temperatur pembakaran yang terjadi semakin besar.

2.9 *Microexplosion*

Microexplosion adalah fenomena yang terjadi dari proses pembakaran yang terdiri dari dua atau lebih campuran bahan bakar yang memiliki perbedaan titik didih. *Microexplosion* dimulai dari menguapnya unsur yang memiliki titik didih lebih rendah sehingga terjadi penguapan lebih awal di dalam droplet dibanding dengan unsur lainnya. Ketika terus dipanaskan, droplet mengalami penurunan densitas yang mengakibatkan turunnya tegangan permukaan. Pada saat droplet tidak dapat menahan tekanan gas di dalamnya, droplet kemudian pecah dan menimbulkan *microexplosion*. Terjadinya *microexplosion* mampu meningkatkan kecepatan pembakaran sehingga bahan bakar lebih cepat habis (Hakim, 2018). Salah satu penyebab dari terjadinya *microexplosion* adalah adanya kandungan air dalam bahan bakar.



Gambar 13. Kandungan air dalam droplet bahan bakar
Sumber : (Cheng, Hu, & Jiang, 2023)

2.10 Karakterisasi Biodiesel

2.10.1 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

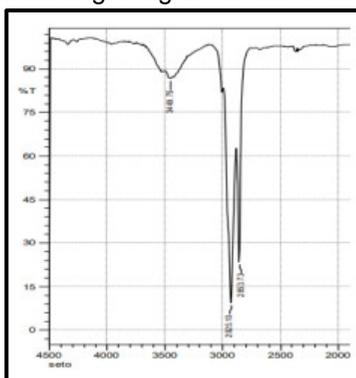
Fourier Transform Infrared (FT-IR), merupakan salah satu instrumen yang banyak digunakan untuk mengetahui vibrasi molekul yang dapat digunakan untuk memprediksi struktur senyawa kimia (Sulistiyani & Huda, 2018). Spektroskopi inframerah transformasi Fourier pertama kali dikembangkan oleh William Coblentz pada tahun 1905 untuk tujuan analisis kimia. Spektroskopi ini telah lama dianggap sebagai alat analisis yang unik untuk mempelajari struktur molekul kecil. Spektroskopi inframerah (IR) berkaitan dengan studi interaksi elektromagnetik inframerah dengan materi (*matter*). Hal ini dapat pengukuran kualitatif dan kuantitatif dilakukan pada berbagai jenis sampel (Sulistiyani, 2022).



in FTIR dilakukan guna mengetahui faktor penuaan isolasi minyak
or terhadap perubahan gugus fungsi komposisi ikatan kimia pada
tiap molekul struktur kimia yang tidak sama akan menghasilkan

jejak spektrum infra merah yang berbeda dengan yang lain, Sehingga spektrum infra-merah dapat digunakan untuk mengidentifikasi molekul-molekul yang terbentuk, mirip seperti sidik jari manusia. Sebagai contoh apabila dua jenis ikatan yang sama dilarutkan dalam larutan atau campuran yang berlainan, maka ia akan tetap memiliki lingkungan yang berbeda pula. Spektrofotometer merupakan suatu alat yang dapat mendeteksi dan membedakan tingkat penyerapan larutan atau campuran suatu bahan kimia. Alat tersebut dapat berfungsi memperoleh jejak sesuai dengan desain optiknya yang disebut interferogram. Interferogram merupakan suatu sinyal kompleks yang memuat informasi frekuensi didalamnya yang mampu dideteksi oleh spektrum inframerah dari berbagai macam larutan atau campuran dengan rentang 500 cm^{-1} sampai 6000 cm^{-1} .

Hasil pengujian FTIR ini disajikan dalam grafik yang menunjukkan adanya presentase transmitansi inframerah pada panjang gelombang tertentu. Pada grafik FTIR sumbu vertikal yaitu % T menyatakan persentase transmitansi yaitu perbandingan sinar inframerah yang tidak diserap sampel yang diuji terhadap sinar inframerah yang diberikan pada sampel. Pada sumbu horizontal menyatakan bilangan gelombang dengan satuan $1/\text{cm}$ (Hanifan, 2022).



Gambar 14. Grafik FTIR

Sumber : (Rahmat & Suwarno, 2020)

Ikatan kimia memiliki frekuensi alami vibrasi yang unik dan khas, kemudian jika dua jenis ikatan yang sama dilarutkan dalam larutan atau campuran yang berlainan, maka tetap akan memiliki lingkungan yang berbeda pula (Rahmat & Suwarno, 2020). FTIR memiliki keuntungan yang banyak dalam penggunaannya seperti kemampuan menyelidiki bahan organik maupun anorganik, sensitivitas yang tinggi terhadap bahan kimia dan sifat structural variasi bahan kimia dan sifat structural dari komponen yang dianalisis, biaya yang murah dan akuisisi data yang cepat, serta jumlah sampel hkan rendah ($\sim 1\text{ mg}$) (Scaggion, dkk., 2024).



2.10.2 Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC – MS)

Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) merupakan teknik kromatografi gas yang digunakan bersama dengan spektrometri massa. Penggunaan kromatografi gas dilakukan untuk mencari senyawa yang mudah menguap pada kondisi vakum tinggi dan tekanan rendah jika dipanaskan. Sedangkan, spektrometri massa untuk menentukan bobot molekul, rumus molekul, dan menghasilkan molekul bermuatan (Hotmian, dkk., 2021). *Gas Chromatography* (GC) adalah teknik analisis utama untuk pemisahan senyawa volatil. Teknik ini menggabungkan kecepatan analisis, resolusi tinggi, kemudahan pengoperasian, hasil kuantitatif yang sangat baik, dan biaya yang moderat. Sayangnya, sistem kromatografi gas tidak dapat memastikan identitas atau struktur puncak mana pun. *Mass Spectrometry* (MS) sebaliknya, adalah salah satu pendeteksi yang paling akurat. Ini hanya membutuhkan sampel dalam bentuk nanogram, tetapi menyediakan data untuk identifikasi kualitatif senyawa yang tidak diketahui (struktur, komposisi unsur, dan berat molekul) dan kuantitasnya (Mcnair, Miller, & Snow, 2019).

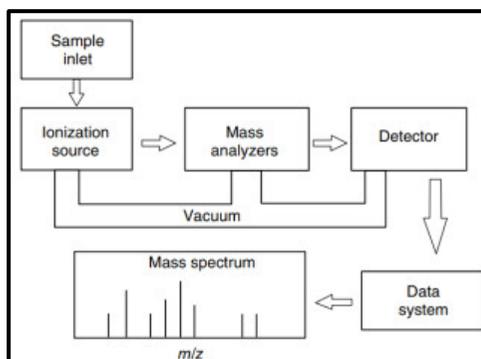
Dalam bukunya, (Mcnair, Miller, & Snow, 2019) mengemukakan terdapat keuntungan dan kerugian dari *Gas Chromatography*. Adapun keuntungan dan kerugiannya dapat dilihat dari **tabel 5** di bawah ini.

Tabel 4. Keuntungan dan kerugian gas chromatography

| <i>Gas Chromatography</i> | |
|--|---|
| Keuntungan | Kerugian |
| Analisis yang cepat | Terbatas pada sampel yang mudah menguap (<i>volatile</i>) |
| Efisien | Sulit untuk sampel yang labil (berubah-ubah) secara termal |
| Sensitif dalam mendeteksi ppm (<i>part per million</i>) dan bahkan ppb (<i>part per billion</i>) Tidak merusak, memungkinkan penggabungan ke <i>Mass Spectrometer</i> | Sulit untuk sampel skala besar |
| Analisis kuantitatif yang sangat akurat, RSD berada pada interval 1-5% | Memerlukan spektroskopi, biasanya spektroskopi massa (MS) untuk mengidentifikasi identitas puncak |
| Membutuhkan sampel yang kecil, biasanya μL | |
| Andalkan dan relatif | |



(Mcnair, Miller, & Snow, 2019)



Gambar 15. Skema dari spektrometer massa
Sumber : (Mcnair, Miller, & Snow, 2019)

Dikutip dari (Rezeika, 2017), terdapat 3 jenis metode analisis kuantitatif kromatografi gas yaitu metode standar kalibrasi, metode standar internal dan metode normalisasi area.

1. Metode Standar Kalibrasi

Untuk analisis dengan metode ini harus disiapkan beberapa larutan standar yang komposisinya sama dengan analit. Kemudian tiap larutan standar diukur dengan kromatografi gas sehingga diperoleh kromatogram untuk tiap larutan standar. Selanjutnya diplot area puncak atau tinggi puncak sebagai fungsi konsentrasi larutan standar.

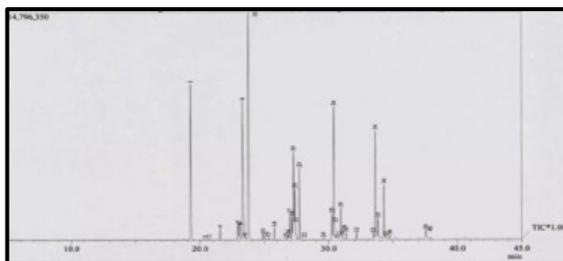
2. Metode Normalisasi Area

Metode analisis ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan yang berhubungan dengan injeksi cuplikan. Dengan metode ini diperlukan elusi yang sempurna, semua komponen campuran harus keluar dari kolom. Area setiap puncak dihitungkan, kemudian area – area puncak tersebut dikoreksi terhadap respon detektor untuk jenis senyawa yang berbeda. Selanjutnya konsentrasi analit ditentukan dengan membandingkan area suatu puncak terhadap total area semua komponen.

3. Metode Standar Internal

Metode ini merupakan cara yang paling baik untuk mendapatkan hasil yang akurat. Metode ini diawali dengan penambahan senyawa standar yang diketahui beratnya ke dalam cuplikan. Senyawa standar tersebut harus yang tidak terdapat di dalam cuplikan. Untuk menghitung berat masing – masing komponen dalam cuplikan, luas puncak dari senyawa standar dipakai sebagai pembanding. Syarat utama senyawa standar adalah senyawa tersebut terelusi terisah dari masing – masing komponen penyusun cuplikan, tetapi letak puncaknya tidak jauh dari puncak komponen lainnya ada diantaranya. Senyawa standar harus mempunyai gugus al yang serupa atau merupakan senyawa yang serupa dengan analit dalam cuplikan. Selain itu harus stabil dalam kondisi analisis dan bereaksi dengan cuplikan yang dianalisis.





Gambar 16. Hasil GC transesterifikasi abu ampas tebu
Sumber : (Mastori, 2010)

2.10.3 Titik Nyala

Titik nyala (*flash point*) adalah temperatur minimum dimana uap yang dihasilkan mudah terbakar. Tergantung pada komposisinya, titik nyala biodiesel berkisar antara 140°C hingga nilai maksimum 180°C. Oleh karena itu, biodiesel memiliki titik nyala yang lebih tinggi dibandingkan minyak diesel pada umumnya (dengan titik nyala berkisar antara 50 dan 100°C) yang menunjukkan bahwa biodiesel lebih aman untuk diangkut dan disimpan (Russo, Portarapillo, & Benedetto, 2023). Titik nyala yang tinggi akan memudahkan penyimpanan bahan bakar, karena minyak tidak akan mudah terbakar pada temperatur ruang (Aziz, Nurbayti, & Ulum, 2012). Titik nyala berhubungan dengan keamanan dan keselamatan, terutama dalam *handling and storage*. Titik nyala menandakan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan untuk terbakar dari suatu bahan bakar (Setiawati & Edwar, 2012). Standar titik nyala sesuai dengan SNI 7182:2015 yaitu minimal 100°C.

2.10.4 Densitas

Densitas didefinisikan sebagai perbandingan antara massa suatu senyawa dengan volumenya. Untuk produk metil ester yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif, densitas dipengaruhi oleh jumlah kandungan ester yang terbentuk sepanjang reaksi. Kecepatan reaksi sangat mempengaruhi jumlah ester. Semakin cepat reaksi berlangsung maka, semakin cepat pemutusan rantai trigliserida menjadi senyawa monogliserida dan digliserida. Kecepatan reaksi umumnya dipengaruhi oleh jenis dan rasio katalis. Nilai densitas dan viskositas yang terlalu tinggi sangat menyulitkan dalam proses pembakaran (Kurniasih & Pardi, 2017). Densitas berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel. Densitas yang rendah akan menghasilkan nilai kalor yang tinggi (Rezeika, 2017). Nilai densitas sesuai dengan SNI 7182:2015 adalah 850-890 kg/m³ pada temperatur minimal 40°C.



merupakan salah satu sifat terpenting dari biodiesel karena penting dalam proses pembakaran dan pengangkutan. Viskositas atau gesekan internal fluida atau ketahanannya terhadap aliran, yang berubah dinamis dalam gerakan fluida. Viskositas bahan bakar

yang rendah mendukung pembentukan tetesan aerosol kecil. Hal ini memberikan banyak keuntungan, seperti pembakaran yang lebih sempurna, pengendapan partikulat (polusi udara) yang lebih sedikit, pembentukan kokas yang lebih sedikit ke dalam injektor, dan ring piston yang lebih sedikit lengket. Selain itu, viskositas yang rendah juga meningkatkan kemampuan *cold start* mesin diesel (Verduzco & Sanchez, 2023).

Viskositas mempunyai peranan penting dalam proses penginjeksian bahan bakar. Viskositas yang terlalu rendah dapat menyebabkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar sedangkan jika terlalu tinggi akan mempengaruhi kerja cepat alat injeksi dan mempersulit pengabutan bahan bakar (Rezeika, 2017). Standar viskositas sesuai dengan SNI 7182:2015 adalah 2,3 – 6,0 cSt pada temperatur minimal 40°C.

2.11 Penelitian Sebelumnya

Penelitian terkait produksi biodiesel menggunakan limbah ikan lele, sebelumnya sudah dilakukan oleh (Gunawan, et al., 2014) yaitu profil kandungan asam lemak tak jenuh pada ekstrak minyak ikan lele. Adapun penelitian yang dilakukan adalah pada proses esterifikasi, minyak yang telah didapatkan dari limbah ikan lele dimasukkan ke dalam *water bath shaker* selama 24 jam dengan temperatur 40°C dan 150 rpm. Pada proses transesterifikasi hanya ditambahkan etanol dan enzim lipase sebagai katalis. Setelah itu, proses yang sama dilakukan pada esterifikasi diterapkan diproses transesterifikasi.

Penelitian pendukung lainnya yaitu terkait pengolahan limbah cangkang telur sebagai katalis telah dilakukan oleh (Syahputri & Broto, 2020) yaitu pemanfaatan limbah cangkang telur ayam sebagai katalis CaO pada pembuatan biodiesel dari minyak goreng. Adapun variasi yang digunakan yaitu waktu transesterifikasi selama 110 dan 130 menit, temperatur transesterifikasi sebesar 50 dan 60°C dan konsentrasi katalis CaO sebanyak 2% dan 4%.

