



MODUL MATA KULIAH
BIOENERGI
(IBP 661)

Universitas
Esa Unggul

Disusun Oleh
Ariyo Prabowo Hidayanto, M.Si.



UNIVERSITAS ESA UNGGUL
2017

Universitas
Esa Unggul

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga *Modul Bioenergi* ini dapat hadir ke hadapan pembaca. Modul ini disusun sebagai salah satu referensi ajar mata kuliah yang berisi teori dan konsep disertai dengan latihan dan tugas.

Modul ini diharapkan praktis dan representatif untuk pedoman belajar bagi mahasiswa peserta mata kuliah bioenergi. Perbaikan secara terus menerus dilakukan demi kesempurnaan modul ini untuk penyesuaian dengan silabus mata kuliah bioenergi.

Semoga modul ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa, khususnya mahasiswa Bioteknologi, Universitas Esa Unggul.

Jakarta, 2017

Penyusun

Ariyo Prabowo Hidayanto, M.Si.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
Bab 1 Biodiesel	1
1.1Pendahuluan Tentang Biodiesel.....	2
1.2Reaksi Transesterifikasi	4
1.3Faktor – faktor yang mempengaruhi reaksi transesterifikasi	6
1.4Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nabati	10
1.5Sifat-Sifat Penting dari Bahan Bakar Mesin Diesel	13
Bab2Bioetanol.....	23
2.1Pendahuluan Tentang Bioetanol	24
2.2Proses Pembuatan Bioetanol	25
2.3Proses Gelatinasi	26
2.4Fermentasi	27
2.5Distilasi.....	28
2.6Karakteristik Bahan Lignoselulosa.....	28
2.7Pengolahan Biomassa	30
2.8Pre-treatment Biomassa.....	31
Bab3Biohidrogen	36
3.1Pengenalan Biohidrogen	37
3.2Produksi Biohidrogen	38
3.3Peran Biohidrogen sebagai Energi Alternatif	40

BAB 1

BIODIESEL

A. Pengantar

Mata kuliah Bioenergi dimulai dengan materi biodiesel agar mahasiswa dapat memahami seluk beluk biodiesel meliputi pendahuluan, reaksi pembuatan biodiesel, faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi tersebut, pembuatan biodiesel dari minyak nabati, serta sifat penting dari bahan bakar diesel. Melalui pemahaman ini, diharapkan agar para mahasiswa dapat memahami segala hal yang berhubungan dengan biodiesel secara lebih mendalam.

B. Kompetensi Dasar

Memiliki kemampuan dasar dalam pemahaman secara komprehensif mengenai biodiesel

C. Kemampuan Akhir yang Diharapkan

Mahasiswa diharapkan mampu :

1. Memahami dan mampu menjelaskan reaksi pembuatan biodiesel
2. Menjelaskan faktor yang mempengaruhi reaksi transesterifikasi
3. Memaparkan proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati serta sifat-sifat penting dari bahan bakar diesel

D. Kegiatan Pembelajaran

1. Pembelajaran dilakukan dengan metoda presentasi dosen, diskusi dan presentasi kelompok
2. Mahasiswa memahami penjelasan dosen selama 30 menit dan selanjutnya diajukan masalah ke setiap kelompok untuk didiskusikan dan setiap kelompok presentasi di depan kelas

E. MATERI

Pendahuluan

1.1 Pendahuluan Tentang Biodiesel

Gagasan awal dari perkembangan biodiesel adalah dari suatu kenyataan yang terjadi di Amerika pada pertengahan tahun 80-an ketika petani kedelai kebingungan memasarkan kelebihan produk kedelainya serta anjloknya harga di pasar. Dengan bantuan pengetahuan yang berkembang saat itu serta dukungan pemerintah setempat, para petani mampu membuat bahan bakar sendiri dari kandungan minyak kedelai menjadi bahan bakar dieselyang lebih dikenal dengan biodiesel. Produk biodiesel dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk alat-alat pertanian dan transportasi mereka.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, para ahli telah menyimpulkan bahwa bahan bakar biodiesel memiliki sifat fisika dan kimia yang hampir sama dengan bahan bakar diesel konvensional dan juga memiliki nilai energi yang hampir setara tanpa melakukan modifikasi pada mesin diesel. Penggunaan biodiesel di Eropa dilakukan dengan mencampur bahan bakar biodiesel dengan diesel konvensional dengan perbandingan tertentu yang bertujuan untuk menjaga faktor teknis pada mesin terhadap produk baru serta menjaga kualitas bilangan setana biodiesel yang harus sama atau lebih besar 40.

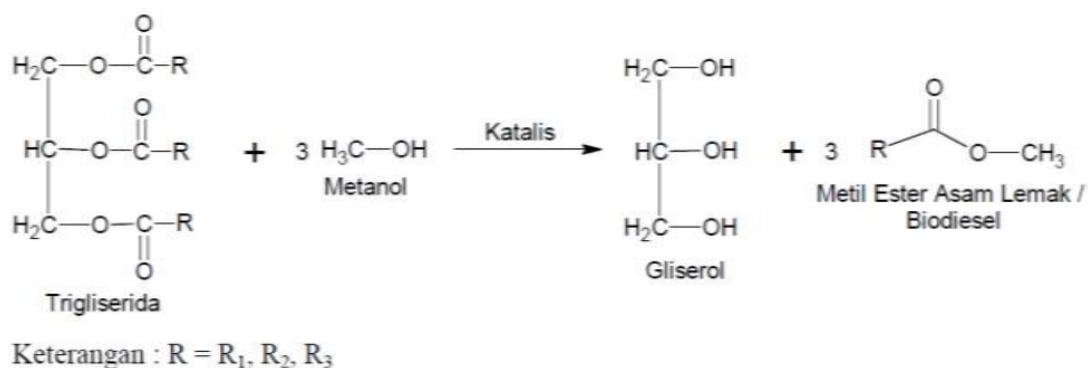
Keunggulan lain dari bahan bakar ini adalah dalam melakukan kendali kontrol polusi, dimana biodiesel lebih mudah dari pada bahan bakar diesel fosil karena tidak mengandung sulfur bebas dan memiliki gas buangan dengan kadar pengotor yang rendah dan dapat didegradasi. Di sisi lain, secara ekonomi menguntungkan bagi negara barat dan Eropa karena sumbernya tidak perlu di impor seperti bahan bakar konvensional. Sumber minyak nabati lainnya yang diolah menjadi biodiesel yaitu dari kanola dan bunga matahari.

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono – alkil ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar mesin diesel dan terbuat dari sumber terbaru seperti minyak nabati misalnya: minyak sawit, minyak kelapa, minyak kemiri, minyak jarak pagar, dan minyak berbagai tumbuhan yang mengandung trigliserida. Biodiesel tergolong bahan bakar yang dapat diperbarui karena diproduksi dari hasil pertanian, antara lain: jarak pagar (*Jatropha curcas*), kelapa sawit, kedelai, jagung, kapas, dan juga bisa dari lemak hewan. Penggunaan biodiesel cukup sederhana, dapat terurai (biodegradable), tidak beracun dan pada dasarnya bebas kandungan belerang (sulfur). Biodiesel memiliki kelebihan dibandingkan dengan solar antara lain:

1. Termasuk bahan bakar yang dapat diperbaharui
2. Tidak memerlukan modifikasi mesin diesel yang telah ada
3. Tidak memperparah efek rumah kaca karena siklus karbon yang terlibat pendek

4. Kandungan energi yang hampir sama dengan kandungan energi petroleum diesel (sekitar 80 % dari petroleum diesel)
5. Penggunaan biodiesel dapat memperpanjang usia mesin diesel karena memberikan lubrikasi lebih daripada bahan bakar petroleum
6. Aman digunakan karena lebih terurai daripada gula, kandungan racunnya 10 kali lebih rendah daripada garam, memiliki flash point yang tinggi yaitu sekitar 200 °C, sedangkan bahan bakar diesel petroleum flash pointnya hanya sekitar 70 °C
7. Bilangan setana yang lebih tinggi daripada petroleum diesel
8. Hasil pembakaran dari biodiesel ini, 90% mengurangi total hidrokarbon yang tidak terbakar, 75 - 90% mengurangi senyawa hidrokarbon aromatik, secara signifikan mengurangi karbon monoksida dan 90% mengurangi resiko kanker

Pada prinsipnya, proses pembuatan biodiesel sangat sederhana. Biodiesel dihasilkan melalui proses yang disebut reaksi esterifikasi asam lemak bebas atau reaksi transesterifikasi trigliserida dengan alkohol dengan bantuan katalis dan dari reaksi ini akan dihasilkan metil ester / etil ester asam lemak dan gliserol pada gambar 1 di bawah ini:

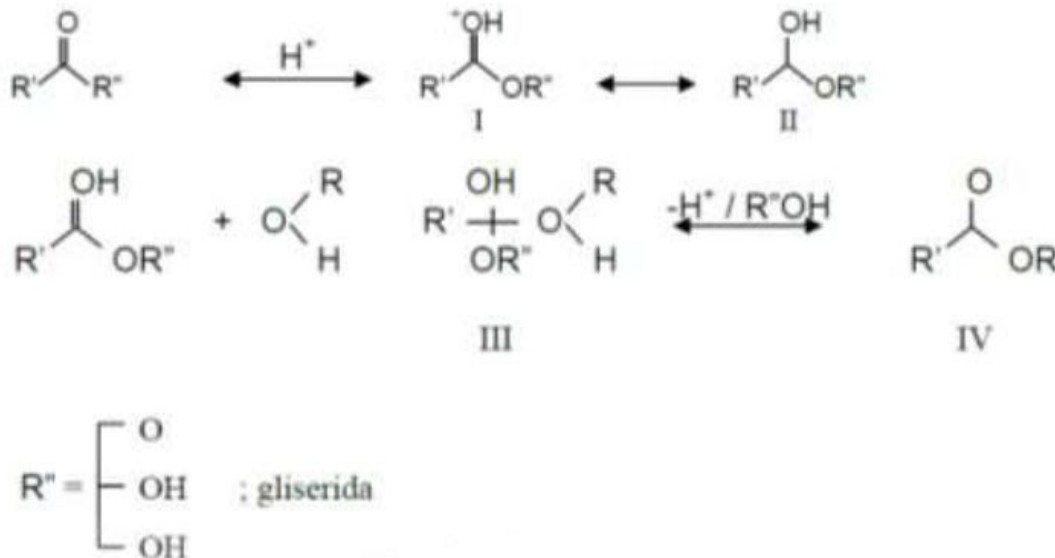


Gambar 1. Reaksi Transesterifikasi Minyak Nabati menjadi Biodiesel

Reaksi transesterifikasi minyak nabati menghasilkan biodiesel juga telah dikembangkan dengan memanfaatkan enzim lipase sebagai katalisnya. Penggunaan enzim lipase ini sangat menarik untuk dikembangkan karena gliserol sebagai hasil samping produksi dapat dipisahkan dengan mudah serta pemurnian biodieselnnya juga sangat mudah dilakukan. Namun demikian dikarenakan biaya produksinya cukup tinggi maka perkembangannya kurang begitu cepat. Tetapi dengan menggunakan metode *whole cell biocatalyst* dengan dukungan partikel biomassa telah dapat dilakukan pembuatan biodiesel dengan harga yang jauh lebih murah.

1.2 Reaksi Transesterifikasi

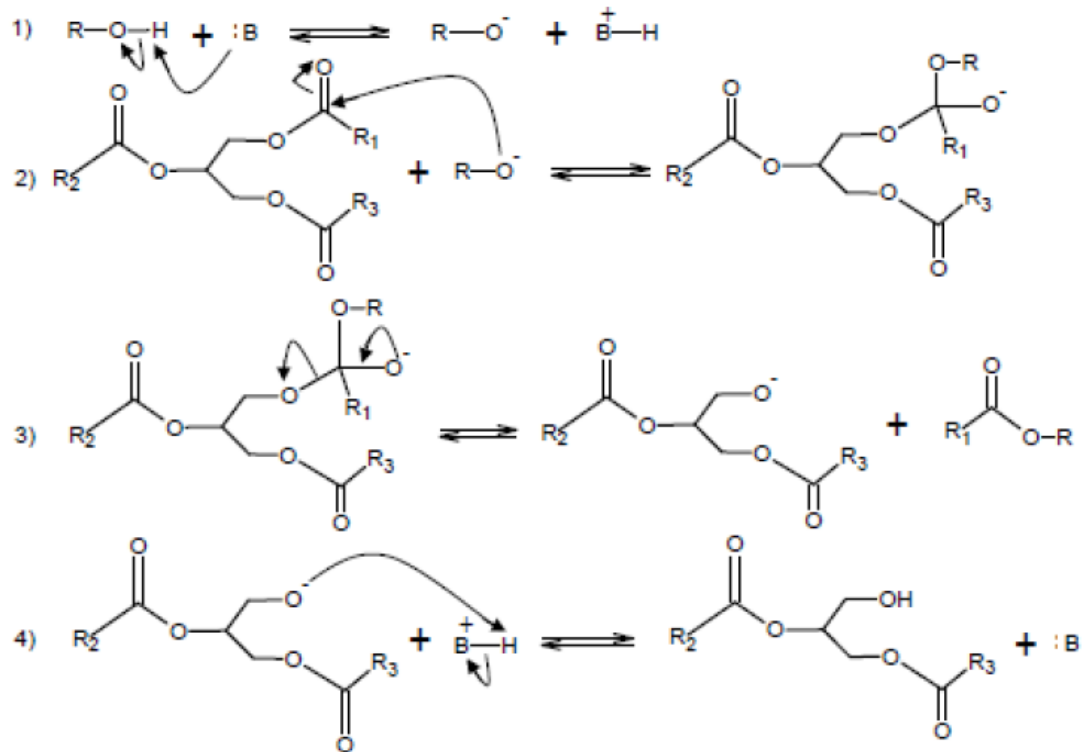
Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi antara trigliserida dengan alkohol dan katalis membentuk metil ester asam lemak (FAME) dan gliserol sebagai produk samping. Transesterifikasi minyak nabati dengan katalis asam ditunjukkan pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Mekanisme Transesterifikasi dengan Katalis Asam dari Minyak Nabati

Dari gambar diatas dapat jelaskan bahwa asam karboksilat dapat terbentuk oleh reaksi karbokasi tahap II dengan adanya air dalam campuran reaksi. Hal ini mendasari bahwa transesterifikasi dengan katalis asam harus berlangsung tanpa adanya air. Kehadiran air akan menurunkan hasil alkil ester. Contoh katalis asam adalah H_2SO_4 yang memberi konversi tinggi tetapi reaksi berlangsung lambat (lebih dari 3 jam) dan memerlukan suhu diatas $100\text{ }^\circ\text{C}$.

Transesterifikasi dengan katalis basa pada umumnya berlangsung lebih cepat dari pada katalis asam karena reaksi berangsur searah. Minyak tidak boleh mengandung air agar reaksi berjalan sempurna dengan katalis basa. Mekanisme reaksi transesterifikasi dengan katalis basa ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme Transesterifikasi dengan Katalis Basa

Proses yang terjadi selama transesterifikasi dengan katalis basa

1. abstraksi proton alkohol oleh katalis basa membentuk anion alkoksida;
2. Penyerangan gugus karbonil trigliserida oleh anion alkoksida membentuk zat antara tetrahedral
3. Terjadi penataan ulang membentuk ion digliserida dan molekul alkil ester
4. Ion digliserida tersebut kemudian bereaksi dengan basa terprotonasi membentuk digliserida dan katalis basa

Tahapan reaksi ini berulang dua kali hingga membentuk gliserol dan alkil ester asam lemak. Kondisi proses produksi biodiesel dengan menggunakan katalis basa adalah:

1. Reaksi berlangsung pada temperatur dan tekanan yang rendah (150°F dan 20 psi)
2. Menghasilkan konversi yang tinggi (98%) dengan waktu reaksi dan terjadinya reaksi samping yang minimal
3. Konversi langsung menjadi biodiesel tanpa tahap *intermediate*
4. Tidak memerlukan konstruksi peralatan yang mahal

Secara umum, pembuatan biodiesel adalah sebagai berikut : Katalis dan stearin dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian dialirkan metanol hasil destilasi ke bagian bawah reaktor. Katalis yang umum digunakan adalah natrium hidroksida (kaustik soda). Campuran bereaksi

pada temperatur 150 °F selama 1 sampai 8 jam dengan pengadukan yang kuat. Katalis yang ditambahkan harus cukup untuk mengkatalis reaksi dan juga bereaksi dengan asam lemak bebas.

Jika kandungan asam lemak bebas terlalu tinggi (lebih dari 0,5 % - 1 %), atau jika terdapat air dalam reaksi, sabun akan terbentuk dengan terlebih dahulu membentuk emulsi dengan metanol dan minyak, sehingga reaksi metanolisis tidak dapat terjadi. Karena itu minyak yang digunakan harus diolah sedemikian rupa untuk membuang asam lemak bebas dan semua laju umpan masuk dijaga agar bebas air.

Biasanya dalam pembuatan biodiesel digunakan metanol berlebih supaya minyak ataupun lemak yang digunakan terkonversi secara total membentuk ester. Kelebihan metanol dapat dipisahkan dengan proses destilasi. Metanol yang diperoleh kembali ini dapat digunakan lagi untuk proses pembuatan biodiesel selanjutnya. Pada tahap ini juga perlu dijaga agar air tidak terakumulasi pada alur pengeluaran metanol.

Setelah reaksi selesai dan metanol telah dipisahkan, terbentuk dua produk utama, yaitu gliserol dan metil ester. Karena adanya perbedaan densitas (gliserol 10 lbs/gal dan metil ester 7,35 lbs/gal) maka keduanya dapat terpisah secara gravitasi. Gliserol terbentuk pada lapisan bawah sementara metil ester pada lapisan atas.

Gliserol yang dihasilkan mengandung katalis yang tidak terpakai dan sabun. Pemurnian gliserol dapat dilakukan dengan penambahan asam membentuk garam dan dialirkan ke tempat penyimpanan gliserol kotor. Gliserol yang diperoleh biasanya memiliki kemurnian sekitar 80 – 88 % dan dapat dijual sebagai gliserol kotor.

Setelah dipisahkan dari gliserol, metil ester dicuci dengan air hangat untuk membuang residu katalis dan sabun, lalu dikeringkan dan dialirkan ke tempat penyimpanan. Metil ester yang dihasilkan biasanya mempunyai kemurnian 98 % dan siap dijual sebagai bahan bakar (biodiesel).

1.3 Faktor faktor yang Mempengaruhi Reaksi Transestrifikasi

a. Lama reaksi

Semakin lama waktu reaksi semakin banyak produk yang dihasilkan karena keadaan ini akan memberikan kesempatan terhadap molekul-molekul reaktan untuk bertumbukan satu sama lain. Namun setelah kesetimbangan tercapai tambahan waktu reaksi tidak mempengaruhi reaksi.

b. Rasio perbandingan alkohol dengan minyak

Rasio molar antara alkohol dengan minyak nabati sangat mempengaruhi dengan metil ester yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah alkohol yang digunakan maka konversi ester yang dihasilkan akan bertambah banyak. Perbandingan molar antara alkohol dan minyak

nabati yang biasa digunakan dalam proses industri untuk mendapatkan produksi metil ester yang lebih besar dari 98% berat adalah 6 : 1

c. Jenis katalis

Katalis adalah suatu zat yang berfungsi mempercepat laju reaksi dengan menurunkan energi aktivasi, namun tidak menggeser letak keseimbangan. Penambahan katalis bertujuan untuk mempercepat reaksi dan menurunkan kondisi operasi. Tanpa katalis reaksi transesterifikasi baru dapat berjalan pada suhu 250 °C. Ketika reaksi selesai, kita akan mendapatkan massa katalis yang sama seperti pada awal kita tambahkan. Katalis yang dapat digunakan dapat berupa katalis homogen atau heterogen.

1. Katalis homogen

Katalis homogen adalah katalis yang mempunyai fasa sama dengan reaktan dan produk. Katalis homogen yang banyak digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis basa/alkali seperti kalium hidroksida (KOH) dan natrium hidroksida (NaOH). Penggunaan katalis homogen ini mempunyai kelemahan yaitu: bersifat korosif, berbahaya karena dapat merusak kulit, mata, paru-paru bila tertelan, sulit dipisahkan dari produk sehingga terbuang pada saat pencucian, mencemari lingkungan, tidak dapat digunakan kembali. Keuntungan dari katalis homogen adalah tidak dibutuhkannya suhu dan tekanan yang tinggi dalam reaksi.

2. Katalis heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang mempunyai fasa yang tidak sama dengan reaktan dan produksi. Jenis katalis heterogen yang dapat digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah CaO, MgO. Keuntungan menggunakan katalis ini adalah ; mempunyai aktivitas yang tinggi, kondisi reaksi yang ringan, masa hidup katalis yang panjang biaya katalis yang rendah, tidak korosif, ramah lingkungan dan menghasilkan sedikit masalah pembuangan, dapat dipisahkan dari larutan produksi sehingga dapat digunakan kembali.

Katalis berfungsi untuk mempercepat reaksi dan menurunkan energi aktivasi sehingga reaksi dapat berlangsung pada suhu kamar sedangkan tanpa katalis reaksi dapat berlangsung pada suhu 250 °C, katalis yang biasa digunakan dalam reaksi transesterifikasi adalah katalis basa seperti kalium hidroksida (KOH) dan natrium hidroksida (NaOH). Reaksi transesterifikasi dengan katalis basa akan menghasilkan konversi minyak nabati menjadi metil ester yang optimum (94% - 99%) dengan jumlah katalis 0,5% – 1,5% bb minyak nabati. Jumlah katalis KOH yang efektif untuk menghasilkan konversi yang optimum pada reaksi transesterifikasi adalah 1% bb minyak nabati (Darnoko, D., 2000).

Ada berbagai katalis lain yang ditunjukkan pada tabel 1 di bawah ini. Kandungan silika yang banyak bersifat tidak aktif pada reaksi metanolisis dan yang sangat aktif adalah katalis dengan kandungan senyawa komponen kalsium dan natrium. Senyawa dengan nilai 10

memberi arti katalis mampu mengkonversi hingga 95%, tetapi pada kenyataannya katalis tersebut juga banyak sekali menghasilkan sabun.

Tabel 1. Katalis metanolisis dan produksi metil ester asam-asam lemak yang mengandung silika

Katalis	Komposisi	Produksi Metil Ester Asam Lemak relatif
MgO	98% MgO	-
SiO ₂	93% SiO ₂ ; 3% Al ₂ O ₃	-
CaO	7% CaO ; 92% Al ₂ O ₃	-
CaO.MgO	9,22% CaO ; 91% MgO	10
CaO. Al ₂ O ₃	14,8% CaO ; 85,2% Al ₂ O ₃	-
CaO.SiO ₂	12,6% CaO ; 87,4% SiO ₂	-
CaO bubuk		3
CaO.MgO. Al ₂ O ₃	6,34% CaO ; 5,64% MgO ; 86% Al ₂ O ₃	0,5
K ₂ CO ₃ .MgO	4,76% K ₂ CO ₃ ; 95,2% MgO	5
K ₂ CO ₃ .Al ₂ O ₃	14,2% K ₂ CO ₃ ; 85% Al ₂ O ₃	4
K ₂ CO ₃ bubuk		6
Na ₂ CO ₃ bubuk		0,8
Fe ₂ O ₃ .MgO	2,73% Fe ₂ O ₃ ; 97,3% MgO	-
CH ₃ ONa.SiO ₂	1,5% - 3,6% CH ₃ ONa ; 98,5% - 96,5% SiO ₂	2

Katalis-katalis dengan komponen kalsium dan magnesium kurang baik digunakan sebagai katalis karena cenderung membentuk sabun (memiliki sifat ganda). Senyawa yang mengikat komponen Si, Mg dan Al cenderung berfungsi sebagai penyangga katalis. Katalis logam seperti Cu dan Sn pada reaksi metanolisis tidak ditemukan hasil berupa metil ester. Katalis yang bersumber dari limbah seperti janjang sawit dan limbah sekam padi juga dapat digunakan sebagai katalis. Sekam padi mengandung senyawa dengan komponen K dan Na, janjang sawit banyak mengandung komponen K yang baik sebagai katalis. Tabel 2 menyajikan bagian bagian senyawa kimia dari abu sekam padi.

Tabel 2. Kandungan senyawa kimia dalam abu sekam padi

Senyawa Kimia	Kadar (%)
SiO ₂	91,16
K ₂ O dan Na ₂ O	4,75
CaO	0,65
MgO	0,99
Fe ₂ O ₃	0,21
SO ₃	0,10

d. Suhu

Kecepatan reaksi transesterifikasi meningkat pada suhu yang mendekati titik didih alkohol yang digunakan. Suhu selama reaksi transesterifikasi dapat dilakukan pada rentang suhu 30 – 65 °C dan dijaga selama proses, tergantung dari jenis minyak yang digunakan. Dalam proses transesterifikasi perubahan suhu reaksi menyebabkan gerakan molekul semakin cepat (tumbukan antara molekul pereaksi meningkat) atau energi yang dimiliki molekul bisa mengatasi energi aktivasi dengan kata lain perubahan suhu akan mempengaruhi probabilitas / peluang molekul dengan energi yang sama atau lebih tinggi dari energi aktivasi. Suhu mempengaruhi viskositas dan densitas, karena viskositas dan densitas merupakan dua parameter fisis penting yang mempengaruhi pemanfaatan biodiesel sebagai bahan bakar. Semakin tinggi suhu menyebabkan gerakan molekul semakin cepat atau energi kinetik yang dimiliki molekul-molekul pereaksi semakin besar sehingga tumbukan antara molekul pereaksi juga meningkat.

e. Pengadukan

Peningkatan kecepatan pengadukan meningkatkan kecepatan reaksi karena dengan pengadukan akan mempercepat pergerakan molekul dan memperbesar peluang terjadinya tumbukan antar molekul. Pada awal reaksi, pengadukan berfungsi untuk mendorong terjadinya difusi antar minyak sampai terbentuk metil ester.

f. Lama waktu pengendapan (settling)

Lama waktu pengendapan berpengaruh pada proses transesterifikasi 2 tahap yaitu melakukan dua kali proses transesterifikasi. Pengendapan bertujuan untuk memisahkan gliserol dan biodiesel. Waktu pengendapan metil ester mempengaruhi bilangan asam. Ketika pengendapan yang lebih lama, diduga tingkat oksidasi pada proses dua tahap lebih tinggi dari pada proses satu tahap. Hal ini mengakibatkan bilangan asam menjadi lebih tinggi. Umumnya, biodiesel cenderung mudah mengalami kerusakan oleh proses oksidasi dan hidrolisis pada waktu penyimpanan karena adanya asam lemak tak jenuh yang merupakan penyusun komposisi biodiesel.

g. Kandungan air

Keberadaan air yang berlebihan dapat menyebabkan sebagian reaksi dapat berubah menjadi reaksi sabun atau saponifikasi yang akan menghasilkan sabun, sehingga meningkatkan viskositas, terbentuknya gel dan dapat menyulitkan pemisahan antara gliserol dan Biodiesel.

h. Metanol

Jenis alkohol yang selalu dipakai pada proses transesterifikasi adalah metanol dan etanol. Metanol merupakan jenis alkohol yang paling disukai dalam pembuatan biodiesel karena metanol (CH_3OH) mempunyai keuntungan lebih mudah bereaksi atau lebih stabil dibandingkan dengan etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) karena metanol memiliki satu ikatan karbon sedangkan etanol memiliki dua ikatan karbon, sehingga lebih mudah memperoleh pemisahan gliserol dibanding dengan etanol. Kerugian dari metanol adalah metanol merupakan zat beracun dan berbahaya bagi kulit, mata, paru-paru dan pencernaan dan dapat merusak plastik dan karet terbuat dari batu bara metanol berwarna bening seperti air, mudah menguap, mudah terbakar dan mudah bercampur dengan air. Etanol lebih aman, tidak beracun dan terbuat dari hasil pertanian, etanol memiliki sifat yang sama dengan metanol yaitu berwarna bening seperti air, mudah menguap, mudah terbakar dan mudah bercampur dengan air. Metanol dan etanol yang dapat digunakan hanya yang murni 99%. Metanol memiliki massa jenis $0,7915 \text{ g/m}^3$, sedangkan etanol memiliki massa jenis $0,79 \text{ g/m}^3$.

1.4 Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nabati

a. Esterifikasi

Minyak-lemak mentah tak jarang mengandung asam lemak bebas dalam jumlah besar. Asam lemak bebas adalah asam lemak yang berada sebagai asam bebas tidak terikat sebagai trigliserida. Asam lemak bebas dihasilkan oleh proses hidrolisis dan oksidasi biasanya bergabung dengan lemak netral.

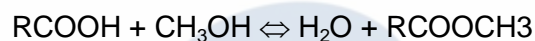
Hasil reaksi hidrolisa minyak sawit adalah gliserol dan ALB. Reaksi ini akan dipercepat dengan adanya faktor-faktor panas, air, keasaman, dan katalis (enzim). Semakin lama reaksi ini berlangsung, maka semakin banyak kadar ALB yang terbentuk. Kadar asam lemak bebas dalam minyak kelapa sawit, biasanya hanya dibawah 1%. Lemak dengan kadar asam lemak bebas lebih besar dari 1%, jika dicicipi akan terasa pada permukaan lidah dan tidak berbau tengik, namun intensitasnya tidak bertambah dengan bertambahnya jumlah asam lemak bebas. Asam lemak bebas, walaupun berada dalam jumlah kecil mengakibatkan rasa tidak lezat. Hal ini berlaku pada lemak yang mengandung asam lemak tidak dapat menguap, dengan jumlah atom C lebih besar dari 14.

Asam lemak bebas dalam konsentrasi tinggi yang terikut dalam minyak nabati sangat merugikan. Tingginya asam lemak bebas ini mengakibatkan rendemen minyak turun. Untuk itulah perlu dilakukan usaha pencegahan terbentuknya asam lemak bebas dalam minyak sawit. Kenaikan asam lemak bebas ditentukan mulai dari saat buah dipanen sampai buah diolah di pabrik. Kenaikan ALB ini disebabkan adanya reaksi hidrolisa pada minyak.

Beberapa faktor yang dapat menyebabkan peningkatan kadar ALB yang relatif tinggi dalam minyak nabati antara lain:

- Pemanenan buah yang tidak tepat waktu
- Keterlambatan dalam pengumpulan dan pengangkutan buah
- Penumpukan buah yang terlalu lama

Proses hidrolisa selama di pabrik, untuk minyak-lemak mentah seperti ini, sebelum proses transesterifikasi, dilakukan proses pra esterifikasi. Definisi ilmiah esterifikasi adalah reaksi pembentukan ester dari asam karboksilat dengan alkohol. Asam lemak bebas diubah menjadi ester metil asam lemak melalui pereaksian dengan metanol :



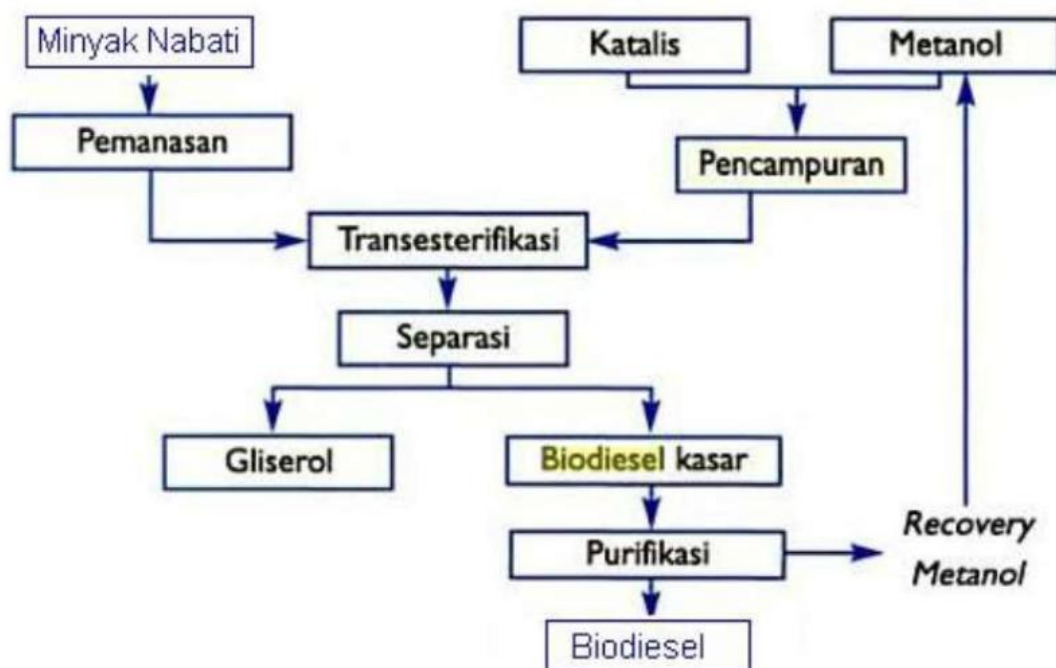
Asam lemak bebas + Metanol \rightleftharpoons Air + Ester alkil asam lemak

Reaksi esterifikasi ini merupakan reaksi kesetimbangan endoterm, sehingga diperlukan pemanasan untuk mempercepat reaksi ini. Walaupun reaksi ini sudah dipercepat dengan katalis, namun masih merupakan reaksi kesetimbangan yang relatif lambat. Katalis yang cocok untuk reaksi esterifikasi adalah asam kuat, seperti asam sulfat, asam sulfonat organik, dan resin penukar kation asam kuat. Dalam pelaksanaannya, katalis yang kerap kali digunakan adalah asam sulfat.

b. Transesterifikasi

Salah satu proses pembuatan biodiesel yang paling banyak digunakan dalam industri adalah transesterifikasi minyak nabati. Transesterifikasi adalah reaksi antara trigliserida dan alkohol menghasilkan gliserol bebas dan ester alkil asam lemak, yang pertama kali dilakukan pada tahun 1853 oleh ilmuwan E. Duffy dan J. Patrick. Transesterifikasi adalah penggantian gugus alkohol dari ester dengan alkohol lain. Umumnya katalis yang digunakan adalah NaOH atau KOH. Metanol lebih umum digunakan untuk proses transesterifikasi karena harganya lebih murah dan lebih mudah untuk didaur ulang kembali, walaupun tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan jenis alkohol lainnya seperti etanol. Transesterifikasi merupakan suatu reaksi kesetimbangan untuk mendorong reaksi agar bergerak ke arah hasil reaksi sehingga dihasilkan metil ester (biodiesel) maka perlu digunakan alkohol dalam jumlah yang berlebih atau salah satu produk yang dihasilkan harus dipisahkan.

Faktor utama yang mempengaruhi rendemen ester yang dihasilkan pada reaksi transesterifikasi adalah rasio molar antara trigliserida dan alkohol, jenis katalis yang digunakan, suhu reaksi, waktu reaksi, kandungan air dan kandungan asam lemak bebas pada bahan baku yang dapat menghambat reaksi. Faktor lain yang mempengaruhi kandungan ester pada biodiesel, diantaranya kandungan gliserol, jenis alkohol yang digunakan pada reaksi transesterifikasi, jumlah katalis sisa dan kandungan sabun. Pada proses transesterifikasi, selain menghasilkan biodiesel, hasil sampingannya adalah gliserin (gliserol). Gliserin dapat dimanfaatkan dalam pembuatan sabun, bahan baku sabun ini berperan sebagai pelembab (*moisturising*). Tahap proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati adalah sebagai berikut (gambar 4) :



Gambar 4. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nabati

c. Pencucian

Tujuan pemurnian biodiesel (ester metil asam lemak) adalah untuk menghilangkan sisa katalis, sisa gliserol dan ion logam sebagai sabun. Ketiga zat pengotor tadi lazim berada pada fasa ester metil asam lemak ketika pemisahannya dengan fasa gliserol. Sisa katalis sebagai hidroksidanya ataupun metoksida masih tertinggal pada ester metil asam lemak setelah proses pemisahan fasa gliserol dan fasa ester metil asam lemak harus dihilangkan karena akan menyebabkan kerusakan yang berupa korosi basa pada pompa

injeksi dan berbagai bagian sistem bahan bakar. Sisa katalis ini mengakibatkan ester metil asam lemak akan bersifat basa yang seharusnya netral atau dengan keasaman 0,5 mg KOH/gnya.

Gliserol merupakan produk metanolisis trigliserida minyak nabati dan dihasilkan bersama-sama dengan ester metil asam lemak. Sebagian kecil gliserol akan berada pada fasa ester metil asam lemak ketika proses pemisahan fasa sedangkan sebagian besar akan terbawa pada fasa bawahnya. Gliserol yang tertinggal harus dihilangkan sampai kurang dari 0,24%- berat. Kadar gliserol yang tinggi akan mengakibatkan terbentuknya gum pada nosel injeksi bahan bakar di ruang mesin.

Sabun merupakan hasil reaksi samping pembuatan ester metil asam lemak yang diakibatkan adanya air dalam kadar kecil sekalipun. Sebagian besar sabun yang terbentuk akan terbawa pada fasa gliserol ketika pemisahannya, tetapi kadar sabun yang tinggi akan mengakibatkan akumulasi sabun padat pada pompa injeksi bahan bakar yang mengakibatkan terganggunya gerak komponen-komponen pompa injeksi bahan bakar. Monitor dari kadar sabun dapat diketahui dari angka asam yang terlalu rendah. Ketiga pengotor ester metil asam lemak tersebut memiliki sifat larut di dalam air dengan baik sebaliknya ester metil asam lemak tidak larut di dalam air, sehingga cara pemisahan ester metil asam lemak dengan pengotornya yang paling sederhana adalah mencucinya dengan air.

Pencucian dilakukan menggunakan air hangat pada suhu 50 °C sampai air pencucian berwarna jernih dan pHnya 7. Pengadukan dilakukan secara perlahan, air cuci dipisahkan setelah terbentuk dua fasa antara biodiesel dan fasa air.

d. Pengeringan Biodiesel

Langkah pemurnian selanjutnya adalah pengeringan yaitu pemisahan ester metil asam lemak dari air dan metanol yang tersisa ketika proses pencucian. Biodiesel (ester metil asam lemak) dipanaskan selama 60 °C dan divakum selama 30 menit.

1.5 Sifat-sifat Penting dari Bahan Bakar Mesin Diesel

a. Viskositas

Viskositas (kekentalan) merupakan sifat intrinsik fluida yang menunjukkan resistensi fluida terhadap alirannya, karena gesekan di dalam bagian cairan yang berpindah dari suatu tempat ke empat yang lain mempengaruhi pengatomatan bahan bakar dengan injeksi kepada ruang pembakaran, akibatnya terbentuk pengendapan pada mesin. Viscositas yang tinggi atau fluida yang masih lebih kental akan mengakibatkan kecepatan aliran akan lebih lambat sehingga proses derajat atomisasi bahan bakar akan terlambat pada ruang bakar. Untuk

mengatasi hal ini perlu dilakukan proses kimia yaitu proses transesterifikasi untuk menurunkan nilai viscositas minyak nabati itu sampai mendekati viscositas biodiesel Standar Nasional Indonesia (SNI) dan standar Solar. Pada umumnya viscositas minyak nabati jauh lebih tinggi dibandingkan viscositas solar, sehingga biodiesel turunan minyak nabati masih mempunyai hambatan untuk dijadikan sebagai bahan bakar pengganti solar. Viscositas dapat dibedakan atas viscositas dinamik (μ) dan viscositas kinematik (ν). Viscositas kinematik merupakan perbandingan antara viscositas dinamik (absolute) dengan densitas (rapat massa) fluida.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Dengan:

ν = Viskositas kinematik (cSt)

μ = Viskositas dinamik (poise)

ρ = Rapat massa (g/cm^3)

Viscositas kinematik dapat diukur dengan alat Viscometer Oswald. Persamaan untuk menentukan viscositas kinematik dengan menggunakan Viscometer Oswald

$$\mu = K \times t \quad (2.2)$$

dimana

ν = viscositas kinematik (centi stokes atau cSt)

K = konstanta viscometer Oswald

t = waktu mengalir fluida didalam pipa viscometer (detik)

b. Densitas (Rapat Massa)

Massa jenis menunjukkan perbandingan massa persatuan volume, karakteristik ini berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel persatuan volume bahan bakar. Kerapatan suatu fluida (ρ) dapat didefinisikan sebagai massa per satuan volume.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Dimana

ρ = rapat massa (kg/m^3)

m = massa (kg)

v = volume (m^3)

c. Titik Kabut (*Cloud Point*) dan Titik Tuang (*Puor Point*)

Titik kabut adalah temperatur saat bahan bakar mulai tampak berkeruh bagaikan kabut (berawan = *cloudy*). Hal ini terjadi karena munculnya kristal-kristal (padatan) di dalam bahan bakar. Meski bahan bakar masih dapat mengalir pada suhu ini, keberadaan kristal dalam bahan bakar dapat mempengaruhi kelancaran aliran bahan bakar di dalam filter, pompa dan injektor. Titik kabut dipengaruhi oleh bahan baku biodiesel. Titik tuang adalah temperatur terendah yang masih memungkinkan bahan bakar masih dapat mengalir atau temperatur dimana bahan bakar mulai membeku atau mulai berhenti mengalir, di bawah titik tuang bahan bakar tidak dapat lagi mengalir karena terbentuknya kristal yang menyumbat aliran bahan bakar. Titik tuang ini dipengaruhi oleh derajat ketidakjenuhan (angka iodium), jika semakin tinggi ketidak jenuhan maka titik tuang akan semakin rendah dan juga dipengaruhi oleh panjangnya rantai karbon, jika semakin panjang rantai karbon maka titik tuang akan semakin tinggi.

Pada umumnya permasalahan pada aliran bahan bakar terjadi pada temperatur diantara titik kabut dan titik tuang; pada saat keberadaan kristal mulai mengganggu proses filtrasi bahan bakar. Oleh karena itu, digunakan metode pengukuran yang lain untuk mengukur performansi bahan bakar pada temperatur rendah, yakni Cold Filter Plugging Point (CFPP) di negara-negara Eropa (standard EN 116) dan Low-Temperature Flow Test (LTFT) di Amerika Utara (standard ASTM D4539). Pada umumnya, titik kabut dan titik tuang biodiesel lebih tinggi dibandingkan dengan solar. Hal ini bisa menimbulkan masalah pada penggunaan biodiesel, terutama di negara-negara yang mengalami musim dingin. Untuk mengatasi hal ini, biasanya ditambahkan aditif tertentu pada biodiesel untuk mencegah aglomerasi kristal-kristal yang terbentuk dalam biodiesel pada temperatur rendah. Namun demikian penambahan aditif tersebut tidak menurunkan titik kabutnya. Selain menggunakan aditif, bisa juga dilakukan pencampuran antara biodiesel dan solar. Pencampuran antara biodiesel dan solar terbukti dapat menurunkan titik kabut dan titik tuang bahan bakar.

Teknik lain yang bisa digunakan untuk menurunkan titik kabut dan titik tuang bahan bakar adalah dengan melakukan "winterization". Pada metode ini, dilakukan pendinginan pada bahan bakar hingga terbentuk kristal-kristal yang selanjutnya disaring dan dipisahkandari bahan bakar. Proses kristalisasi parsial ini terjadi karena asam lemak tak jenuh memiliki titik beku yang lebih rendah dibandingkan dengan asam lemak jenuh. Maka proses winterization sejatinya merupakan proses pengurangan asam lemak jenuh pada biodiesel. Disisi lain, asam lemak jenuh berkaitan dengan angka setana. Oleh karena itu proses winterization dapat menurunkan angka setana bahan bakar diesel.

Metode lainnya untuk menurunkan titik kabut dan titik tuang biodiesel adalah dengan menggunakan alkohol bercabang sebagai pengganti metil atau etil dalam pembuatan biodiesel. Peneliti sebelumnya telah meneliti suhu kristalisasi biodiesel yang

dibuat dariminyak kedelai dengan isopropil, 2-butil, t-butil dan neopentil alkohol sertamembandingkannya dengan metanol dan etanol.

d. Bilangan Iod

Bilangan Iod menunjukkan tingkat ketidak jenuhan atau banyaknya ikatan rangkapasam asam lemak penyusun biodiesel. Kandungan senyawa asam lemak takjenuhmeningkatkan performa biodiesel pada temperatur rendah karena senyawa ini memilikitikit leleh (*Melting Point*) yang lebih rendah, sehingga berkorelasi terhadap *cloud point* dan *pour point* yang rendah. Namun di sisi lain banyaknya senyawa lemak tak jenuh di dalam biodiesel memudahkan senyawa tersebut bereaksi dengan oksigen di atmosfer. Biodieseldengan kandungan bilangan iod yang tinggi akan mengakibatkan tendensi polimerisasi danpembentukan deposit pada *injector nozzle* dan cincin piston pada saat mulai pembakaran.Nilai maksimum harga angka Iod yang diperbolehkan untuk biodiesel yaitu 115 (g I₂/100 g)

berdasarkan Standart Biodiesel indonesia.

e. Kadar Air

Kadar air dalam minyak merupakan salah satu tolak ukur mutu minyak. Makin kecilkadar air dalam minyak maka mutunya makin baik, hal ini dapat memperkecil kemungkinanterjadinya reaksi hidrolisis yang dapat menyebabkan kenaikan kadar asam lemak bebas,kandungan air dalam bahan bakar dapat juga menyebabkan turunnya panas berbusa danbersifat korosif jika bereaksi dengan sulfur karena akan membentuk asam

f. Angka Setana

Angka setana adalah ukuran kecepatan bahan bakar diesel yang diinjeksikan keruang bakar bisa terbakar secara spontan setelah bercampur dengan udara. Angka setanapada bahan bakar mesin diesel memiliki pengertian yang berkebalikan dengan angka oktanpada bahan bakar mesin bensin. Semakin cepat suatu bahan bakar mesin diesel terbakarsetelah diinjeksikan ke dalam ruang bakar, semakin baik (tinggi) angka setana bahan bakar tersebut. Cara pengukuran angka setana yang umum digunakan adalah menggunakan hexadecane (C₁₆H₃₄, yang memiliki nama lain setana) sebagai patokan tertinggi (angka setana, CN=100), dan 2,2,4,4,6,8,8 heptamethylnonane (HMN yang juga memiliki komposisi C₁₆H₃₄) sebagai patokan terendah (CN=15). Angka setana dalam standar biodiesel ASTM D613 minimum sebesar 47 sedangkan untuk standar Eropa (contoh di Jerman, E DIN 51606) minimum sebesar 49. Dari kedua senyawa standar tersebut terlihat bahwa angka setana menurun seiring dengan berkurangnya panjang rantai karbon dan meningkatnya percabangan. Dengan demikian hidrokarbon dengan rantai lurus lebih mudah terbakar dibandingkan dengan hidrokarbon yang memiliki banyak cabang.

Angka setana berkorelasi dengan tingkat kemudahan penyalaan pada temperatur rendah dan rendahnya kebisingan pada kondisi *idle*. Angka setana yang tinggi juga

diketahui berhubungan dengan rendahnya polutan NOx. Secara umum, biodiesel memiliki angka setana yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar. Biodiesel pada umumnya memiliki rentang angka setana dari 46 - 70, sedangkan (bahan bakar) Diesel No. 2 memiliki angka setana 47 – 55. Panjangnya rantai hidrokarbon yang terdapat pada metil ester asam lemak juga menyebabkan tingginya angka setana biodiesel dibandingkan dengan solar.

Angka setana yang tinggi menyebabkan *ignition delay* yang pendek, sedangkan angka setana yang rendah menimbulkan *knocking* pada diesel. Karena keterbatasan peralatan angka setana bisa diperkirakan dengan menggunakan perhitungan *cetane index*. Angka setana juga dapat diperkirakan berdasarkan bilangan penyabunan dan bilangan iodium dari sampel biodiesel dengan menggunakan persamaan:

$$CN = 46,3 + 5458/SN - 0,225 \times IV$$

Dimana:

CN = Cetane Number (angka setana)

SN = Saponification Number (bilangan penyabunan)

IV = Iodine Value (bilangan iodium)

g. Bilangan penyabunan dan bilangan iodium ini dapat ditentukan melalui titrasi analitis atau menggunakan persamaan berikut ini:

$$SN = \sum (560 \times A1) / MW$$

$$IV = \sum (254 \times D \times A1) / MW$$

Dimana:

A1 = Persentase konsentrasi komponen asam lemak tidak jenuh

D = Jumlah ikatan rangkap yang terdapat pada minyak tersebut

MW = Berat molekul minyak

Peneliti sebelumnya menemukan bahwa bilangan penyabunan dan bilangan iodium yang diperoleh melalui hasil perhitungan dan titrasi analitis memberikan hasil yang sama. Namun demikian untuk penentuan angka setana-nya antara hasil perhitungan menggunakan persamaan diatas dengan hasil eksperimen memberikan hasil yang berbeda, dimana hasil perkiraan angka setana menggunakan persamaan diatas lebih kecil $\pm 2,5$ dibandingkan angka setana hasil eksperimen.

Panjang rantai karbon asam lemak dan tingkat kejenuhannya mempengaruhi angka setana biodiesel. Semakin panjang rantai karbon asam lemaknya dan semakin jenuh rantainya maka semakin tinggi angka setana biodiesel tersebut. Angka setana yang paling tinggi diperoleh dari biodiesel yang banyak mengandung asam palmitat dan stearat sedangkan biodiesel yang mengandung asam lemak tidak jenuh dengan jumlah ikatan rangkap tunggal memiliki kisaran angka setana medium. Hal ini disebabkan

peningkatan jumlah ikatan rangkap dan adanya percabangan pada rantai karbonnya yang menyebabkan angka setana menjadi menurun.

Tabel 3 berikut ini memperlihatkan angka setana, titik kabut dan stabilitas dari asam lemak jenuh, asam lemak tidak jenuh tunggal dan asam lemak jenuh :

SME	RME	SUNME	CME	PME	POME	TME	CAME
45,0	51,9	61,2	52,0	54,0	59 – 70	58,0	53,9
46,2	54,4	50,0	45 – 55	54,0	62,0	62,9	55,0
54,7	49,4	58,0	54,0	-	58,3	64,8	-
45,0	54,5	58,0	54,0	-	62,0	-	-
54,8	54 – 65	49,0	-	-	-	-	-
60,0	53,0	-	-	-	-	-	-
51,9	51 – 59	-	-	-	-	-	-
48,6	51,0	-	-	-	-	-	-
45,0	59,7	-	-	-	-	-	-
51,0	44 – 48	-	-	-	-	-	-
47,2	53,3	-	-	-	-	-	-
52,0	-	-	-	-	-	-	-
56,4	-	-	-	-	-	-	-
47,3	-	-	-	-	-	-	-
59,0	-	-	-	-	-	-	-

SME = Soybean Methyl Ester (Metil Ester Minyak Kedelai)

RME = Rapeseed Methyl Ester (Metil Ester Minyak Biji Rapa)

SUNME = Sunflower Methyl Ester (Metil Ester Minyak Biji Matahari)

CME = Cottonseed Methyl Ester (Metil Ester Minyak Biji Kapuk Randu)

PME = Peanut Methyl Ester (Metil Ester Minyak Biji Kacang)

POME = Palm Oil Methyl Ester (Metil Ester Minyak Sawit)

TME = Tallow Methyl Ester (Metil Ester Lemak Hewan)

CAME = Canola Methyl Ester (Metil Ester Minyak Kanola)

Tabel 4. Persyaratan kualitas biodiesel menurut SNI-04-7182-2006 :

Parameter dan Satuannya	Batas Nilai	Metode Uji	Metode Setara
Massa jenis pada 40°C, kg/m ³	850 – 890	ASTM D 1298	ISO 3675
Viskositas kinematik pada 40°C, mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0	ASTM D 445	ISO 3104
Angka setana	min. 51	ASTM D 613	ISO 5165
Titik nyala (mangkok tertutup), °C	min. 100	ASTM D 93	ISO 2710
Titik kabut, °C	maks. 18	ASTM D 2500	-
Korosi bilah tembaga (3 jam, 50°C)	maks. no. 3	ASTM D 130	ISO 2160
Residu karbon, %-berat, - dalam contoh asli - dalam 10% ampas distilasi	Maks. 0,05 (maks 0,03)	ASTM D 4530	ISO 10370
Air dan sedimen, %-vol.	maks. 0,05	ASTM D 2709	-
Temperatur distilasi 90%, °C	maks. 360	ASTM D 1160	-
Abu tersulfatkan, %-berat	maks. 0,02	ASTM D 874	ISO 3987
Belerang, ppm-b (mg/kg)	maks. 100	ASTM D 5453	prEN ISO 20884
Fosfor, ppm-b (mg/kg)	maks. 10	AOCS Ca 12-55	FBI-A05-03
Angka asam, mg-KOH/g	maks. 0,8	AOCS Cd 3-63	FBI-A01-03
Gliserol bebas, %-berat	maks. 0,02	AOCS Ca 14-56	FBI-A02-03
Gliserol total, %-berat	maks. 0,24	AOCS Ca 14-56	FBI-A02-03
Kadar ester alkil, %-berat	min. 96,5	Dihitung*)	FBI-A03-03
Angka iodium, g-I ₂ /(100 g)	maks. 115	AOCS Cd 1-25	FBI-A04-03
Uji Halphen	negatif	AOCS Cb 1-25	FBI-A06-03

F. EVALUASI BELAJAR

1. Rangkuman

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, para ahli telah menyimpulkan bahwa bahan bakar biodiesel memiliki sifat fisika dan kimia yang hampir sama dengan bahan bakar diesel konvensional dan juga memiliki nilai energi yang hampir setara tanpa melakukan modifikasi pada mesin diesel. Penggunaan biodiesel di Eropa dilakukan dengan mencampur bahan bakar biodiesel dengan diesel konvensional dengan perbandingan tertentu yang lebih dikarenakan menjaga faktor teknis pada mesin terhadap produk baru serta menjaga kualitas bilangan setana biodiesel yang harus sama atau lebih besar 40.

Keunggulan lain dari bahan bakar ini adalah dalam melakukan kendali kontrol polusi, dimana biodiesel lebih mudah dari pada bahan bakar diesel fosil karena tidak mengandung sulfur bebas dan memiliki gas buangan dengan kadar pengotor yang rendah dan dapat didegradasi. Di sisi lain, secara ekonomi menguntungkan bagi negara barat dan Eropa

karena sumbernya tidak perlu di impor seperti bahan bakar konvensional. Sumber minyak nabati lainnya yang diolah menjadi biodiesel yaitu dari kanola dan bunga matahari.

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono – alkil ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar mesin diesel dan terbuat dari sumber terbaru seperti minyak nabati misalnya: minyak sawit, minyak kelapa, minyak kemiri, minyak jarak pagar, dan minyak berbagai tumbuhan yang mengandung trigliserida. Biodiesel tergolong bahan bakar yang dapat diperbaharui karena diproduksi dari hasil pertanian, antara lain: jarak pagar (*Jatropha curcas*), kelapa sawit, kedelai, jagung, kapas, dan juga bisa dari lemak hewan. Penggunaan biodiesel cukup sederhana, dapat terurai (biodegradable), tidak beracun dan pada dasarnya bebas kandungan belerang (sulfur). Biodiesel memiliki kelebihan dibandingkan dengan solar antara lain termasuk bahan bakar yang dapat diperbaharui, tidak memerlukan modifikasi mesin diesel yang telah ada, tidak memperparah efek rumah kaca karena siklus karbon yang terlibat pendek, kandungan energi yang hampir sama dengan kandungan energi petroleum diesel (sekitar 80 % dari petroleum diesel), penggunaan biodiesel dapat memperpanjang usia mesin diesel karena memberikan pelumasan lebih daripada bahan bakar petroleum, aman digunakan karena lebih terurai daripada gula, kandungan racunnya 10 kali lebih rendah daripada garam, memiliki flash point yang tinggi yaitu sekitar 200 °C, sedangkan bahan bakar diesel petroleum flash pointnya hanya sekitar 70 °C, bilangan setana yang lebih tinggi daripada petroleum diesel.

Secara umum, pembuatan biodiesel adalah sebagai berikut : Katalis dan stearin dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian dialirkan metanol hasil destilasi ke bagian bawah reaktor. Katalis yang umum digunakan adalah natrium hidroksida (kaustik soda). Campuran bereaksi pada temperatur 150 °F selama 1 sampai 8 jam dengan pengadukan yang kuat. Katalis yang ditambahkan harus cukup untuk mengkatalis reaksi dan juga bereaksi dengan asam lemak bebas.

Jika kandungan asam lemak bebas terlalu tinggi (lebih dari 0,5 % - 1 %), atau jika terdapat air dalam reaksi, sabun akan terbentuk dengan terlebih dahulu membentuk emulsi dengan metanol dan minyak, sehingga reaksi metanolisis tidak dapat terjadi. Karena itu minyak yang digunakan harus diolah sedemikian rupa untuk membuang asam lemak bebas dan semua laju umpan masuk dijaga agar bebas air.

Biasanya dalam pembuatan biodiesel digunakan metanol berlebih supaya minyak ataupun lemak yang digunakan terkonversi secara total membentuk ester. Kelebihan metanol dapat dipisahkan dengan proses destilasi. Metanol yang diperoleh kembali ini dapat digunakan lagi untuk proses pembuatan biodiesel selanjutnya. Pada tahap ini juga perlu dijaga agar air tidak terakumulasi pada alur pengeluaran metanol.

Setelah reaksi selesai dan metanol telah dipisahkan, terbentuk dua produk utama, yaitu gliserol dan metil ester. Karena adanya perbedaan densitas (gliserol 10 lbs/gal dan metil ester 7,35 lbs/gal) maka keduanya dapat terpisah secara gravitasi. Gliserol terbentuk pada lapisan bawah sementara metil ester pada lapisan atas.

Gliserol yang dihasilkan mengandung katalis yang tidak terpakai dan sabun. Pemurnian gliserol dapat dilakukan dengan penambahan asam membentuk garam dan dialirkan ke tempat penyimpanan gliserol kotor. Gliserol yang diperoleh biasanya memiliki kemurnian sekitar 80 – 88 % dan dapat dijual sebagai gliserol kotor.

Setelah dipisahkan dari gliserol, metil ester dicuci dengan air hangat untuk membuang residu katalis dan sabun, lalu dikeringkan dan dialirkan ke tempat penyimpanan. Metil ester yang dihasilkan biasanya mempunyai kemurnian 98 % dan siap dijual sebagai bahan bakar (biodiesel).

2. Latihan

1. Apa bedanya (dari proses serta produk yang dihasilkan) reaksi esterifikasi dengan transesterifikasi? Jelaskan !
2. Apa yang dimaksud dengan bilangan setana ? Apa perbedaan mendasar bilangan oktan dengan bilangan setana, Jelaskan
3. Apa saja produk pangan (biodiversitas) yang potensial dijadikan sebagai bahan baku biodiesel ?

3. Tugas

1. Apa perbedaan antara viskositas kinematik dengan viskositas dinamik? Uraikan Jawaban anda !
2. Dikenal adanya istilah flash point dan boiling point, jelaskan perbedaan diantara keduanya serta beri contoh !
3. Mengapa kita perlu mengukur bilangan setana ? Jelaskan !

G. Penilaian Tugas

- 1) Tugas dibuat di blog mahasiswa
- 2) Blog di link ke web hybrid learning.
- 3) Blog tersebut harus mencantumkan logo dan nama Universitas Esa Unggul
- 4) Diselesaikan sebelum batas akhir penyerahan tugas

H. Daftar Pustaka

Arpiwi NL, (2015). *Petunjuk Praktikum Bioenergi*, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali

Manurung R (2006) *Transesterifikasi Minyak Nabati. Jurnal Teknologi Proses*, 5 (1) : 47-52

Sari DA dan Hadiyanto (2013) *Proses Produksi Bioenergi Berbasis Bioteknologi, Review. Jurnal Aplikasi Teknologi Pertanian*, 2(3): 108-113

Setyawati E dan Edwar F (2012) *Teknologi Pengolahan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Teknik Mikrofiltrasi dan Transesterifikasi sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel. Jurnal Riset Industri*, 6 (2): 117-127

Wahyuni S, Ramli, Mahrizal (2015) *Pengaruh Suhu Proses dan Lama Pengendapan Terhadap Kualitas Biodiesel dari Minyak Jelantah. Pillar of Physics*, 6 : 33-40



BAB 2

BIOETANOL

A. Pengantar

Bab ini akan membahas bioetanol agar mahasiswa dapat memahami seluk beluk bioetanol yang meliputi pendahuluan, proses pembuatan bioetanol, pengolahan biomassa, serta karakteristik bahan lignoselulosa. Melalui pemahaman ini, diharapkan agar para mahasiswa dapat memahami segala hal yang berhubungan dengan bioetanol secara lebih mendalam.

B. Kompetensi Dasar

Memiliki kemampuan dasar dalam pemahaman secara komprehensif mengenai bioetanol

C. Kemampuan Akhir yang Diharapkan

Mahasiswa diharapkan mampu :

1. Memahami dan mampu menjelaskan proses pembuatan bioetanol
2. Memaparkan pengolahan serta pemanfaatan pengolahan biomassa sebagai bahan mentah bioetanol
3. Menganalisis karakteristik bahan lignoselulosa

D. Kegiatan Pembelajaran

1. Pembelajaran dilakukan dengan metoda presentasi dosen, diskusi dan presentasi kelompok
2. Mahasiswa memahami penjelasan dosen selama 30 menit dan selanjutnya diajukan masalah ke setiap kelompok untuk didiskusikan dan setiap kelompok presentasi di depan kelas

E. MATERI

Pendahuluan

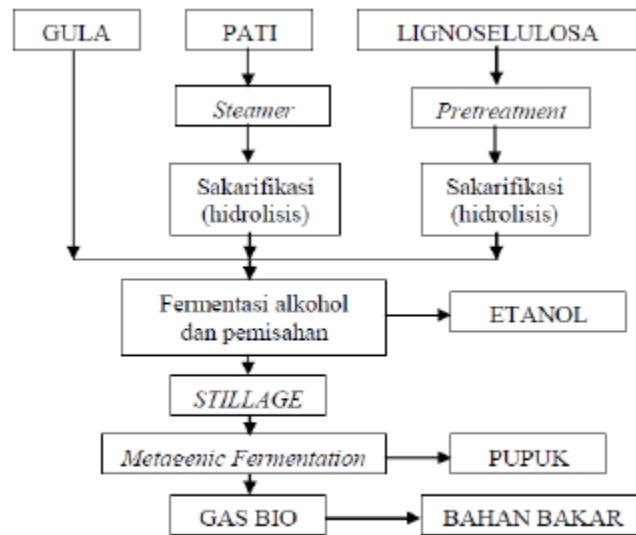
2.1 Pendahuluan Tentang Bioetanol

Alkohol merupakan bahan kimia yang diproduksi dari bahan baku tanaman yang mengandung pati seperti ubi kayu, ubi jalar, jagung, dan sagu biasanya disebut dengan bioetanol. Ubi kayu, ubi jalar, dan jagung merupakan tanaman pangan yang biasa ditanam rakyat hampir di seluruh wilayah Indonesia, sehingga jenis tanaman tersebut merupakan tanaman yang potensial untuk dipertimbangkan sebagai sumber bahan baku pembuatan bioetanol atau gasohol. Namun dari semua jenis tanaman tersebut, ubi kayu merupakan tanaman yang setiap hektarnya paling tinggi dapat memproduksi etanol. Selain itu pertimbangan pemakaian ubi kayu sebagai bahan baku proses produksi bio-etanol juga didasarkan pada pertimbangan ekonomi. Pertimbangan keekonomian pengadaan bahan baku tersebut bukan saja meliputi harga produksi tanaman sebagai bahan baku, tetapi juga meliputi biaya pengelolaan tanaman, biaya produksi pengadaan bahan baku, dan biaya bahan baku untuk memproduksi setiap liter etanol/bio-etanol.

Secara umum etanol/bio-etanol dapat digunakan sebagai bahan baku industri turunan alkohol, campuran untuk minuman keras, bahan dasar industri farmasi, campuran bahan bakar untuk kendaraan. Mengingat pemanfaatan etanol/bio-etanol beraneka ragam, sehingga grade etanol yang dimanfaatkan harus berbeda sesuai dengan penggunaannya. Untuk etanol/bio-etanol yang mempunyai *grade* 90-96,5% vol dapat digunakan pada industri, sedangkan etanol/bioetanol yang mempunyai *grade* 96-99,5% vol dapat digunakan sebagai campuran untuk minuman keras dan bahan dasar industri farmasi. Berbeda dengan besarnya *grade* etanol/bioetanol yang dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar untuk kendaraan yang harus betul-betul kering dan anhidrat supaya tidak korosif, sehingga etanol/bio-etanol harus mempunyai *grade* sebesar 99,5-100% vol.

Perbedaan besarnya *grade* akan berpengaruh terhadap proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air. Berdasarkan bahan bakunya, ada dua jenis generasi yaitu bioetanol generasi pertama dan bioetanol generasi kedua. Bioetanol generasi pertama, bahan baku yang digunakan berasal dari bahan berpati yang berbasis bahan pangan. Bioetanol generasi kedua, bahan bakunya berasal dari 8 limbah biomassa. Bioetanol generasi pertama mulai dikembangkan di Indonesia, namun bioetanol generasi ini harganya masih relatif tinggi karena bahan bakunya juga digunakan sebagai bahan pangan dan pakan. Bahan baku yang berbasis bahan makanan akan mengakibatkan persaingan antara kebutuhan energi dengan kebutuhan pangan, dan terbentur penggunaan lahan yang luas untuk tanaman pangan tersebut. Untuk menurunkan harga dan menghindari konflik antar pangan dan energi, bioetanol generasi kedua perlu dikembangkan.

Bioetanol generasi kedua menggunakan bahan limbah biomassa. Limbah biomassa mempunyai jumlah cukup besar di Indonesia. Tahapan pembuatan bioetanol generasi kedua terdiri dari proses penghalusan, perlakuan awal (delignifikasi), hidrolisis (sakarifikasi), fermentasi, dan dilanjutkan proses destilasi (pemurnian). Perbedaan proses produksi bioetanol generasi pertama dan bioethanol generasi 2 dapat dilihat pada gambar 1 berikut :



Gambar 1. Tahapan Proses Bioetanol Berdasarkan Bahan Bakunya

Bioetanol memiliki beberapa kelebihan dibandingkan bahan bakar minyak. Bioetanol yang dikombinasikan dengan BBM terbukti dapat mengurangi emisi karbon monoksida dan asap lainnya dari kendaraan. Semakin sedikitnya sumber energi fosil yang ada di bumi dan semakin tingginya pencemaran lingkungan menjadi faktor utama dibutuhkan energi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, etanol juga bisa terurai sehingga dapat mengurangi emisi gas buang berbahaya.

2.2 Proses Pembuatan Bioetanol

Produksi etanol/bio-etanol (alkohol) dengan bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat, dilakukan melalui proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air. Konversi bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat dan tetes menjadi bio-etanol ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Konversi bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat dan tetes menjadi bioetanol

Bahan Baku		Kandungan Gula Dalam Bahan Baku (Kg)	Jumlah Hasil Konversi		Perbandingan Bahan Baku dan Bioetanol
Jenis	Konsumsi (Kg)		Bio-etanol (Liter)		
Ubi Kayu	1000	250-300	166.6		6,5:1
Ubi Jalar	1000	150-200	125		8:1
Jagung	1000	600-700	200		5:1
Sagu	1000	120-160	90		12:1
Tetes	1000	500	250		4:1

Glukosa dapat dibuat dari pati-patian, proses pembuatannya dapat dibedakan berdasarkan zat pembantu yang digunakan, yaitu Hidrolisa asam dan Hidrolisa enzim. Berdasarkan kedua jenis hidrolisa tersebut, saat ini hidrolisa enzim lebih banyak dikembangkan, sedangkan hidrolisa asam (misalnya dengan asam sulfat) kurang dapat berkembang, sehingga proses pembuatan glukosa dari pati-patian sekarang ini dipergunakan dengan hidrolisa enzim. Dalam proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air dilakukan dengan penambahan air dan enzim; kemudian dilakukan proses peragian atau fermentasi gula menjadi etanol dengan menambahkan yeast atau ragi.

Selain etanol/bio-etanol dapat diproduksi dari bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat, juga dapat diproduksi dari bahan tanaman yang mengandung selulosa, namun dengan adanya lignin mengakibatkan proses penanggulangannya menjadi lebih sulit, sehingga pembuatan etanol/bio-etanol dari selulosa tidak perlu direkomendasikan. Meskipun teknik produksi etanol/bioetanol merupakan teknik yang sudah lama diketahui, namun etanol/bio-etanol untuk bahan bakar kendaraan memerlukan etanol dengan karakteristik tertentu yang memerlukan teknologi yang relatif baru di Indonesia antara lain mengenai neraca energi (*energy balance*) dan efisiensi produksi, sehingga penelitian lebih lanjut mengenai teknologi proses produksi etanol masih perlu dilakukan. Secara singkat teknologi proses produksi etanol/bio-etanol tersebut dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu gelatinasi, sakarifikasi, dan fermentasi.

2.3 Proses Gelatinasi

Dalam proses gelatinasi, bahan baku ubi kayu, ubi jalar, atau jagung dihancurkan dan dicampur air sehingga menjadi bubur, yang diperkirakan mengandung pati 27-30 persen. Kemudian bubur pati tersebut dimasak atau dipanaskan selama 2 jam sehingga berbentuk gel. Proses gelatinasi tersebut dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu : Bubur pati dipanaskan sampai 130 °C selama 30 menit, kemudian didinginkan sampai mencapai temperatur 95 °C

yang diperkirakan memerlukan waktu sekitar $\frac{1}{4}$ jam. Temperatur $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ tersebut dipertahankan selama sekitar $1\frac{1}{4}$ jam, sehingga total waktu yang dibutuhkan mencapai 2 jam, selanjutnya bubur pati ditambah enzim termamil yang dipanaskan langsung sampai mencapai temperatur $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam.

Gelatinasi cara pertama, yaitu cara pemanasan bertahap mempunyai keuntungan, yaitu pada suhu $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ aktifitas termamil adalah yang tertinggi, sehingga mengakibatkan yeast atau ragi cepat aktif. Pemanasan dengan suhu tinggi ($130\text{ }^{\circ}\text{C}$) pada cara pertama ini dimaksudkan untuk memecah granula pati, sehingga lebih mudah terjadi kontak dengan air enzyme. Perlakuan pada suhu tinggi tersebut juga dapat berfungsi untuk sterilisasi bahan, sehingga bahan tersebut tidak mudah terkontaminasi.

Gelatinasi cara kedua, yaitu cara pemanasan langsung (gelatinasi dengan enzim termamil) pada temperature $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ menghasilkan hasil yang kurang baik, karena mengurangi aktifitas yeast. Hal tersebut disebabkan gelatinasi dengan enzim pada suhu $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ akan terbentuk tri-phenyl-furane yang mempunyai sifat racun terhadap yeast. Gelatinasi pada suhu tinggi tersebut juga akan berpengaruh terhadap penurunan aktifitas termamil, karena aktifitas termamil akan semakin menurun setelah melewati suhu $95\text{ }^{\circ}\text{C}$. Selain itu, tingginya temperatur tersebut juga akan mengakibatkan *half life* dari termamil semakin pendek, sebagai contoh pada temperatur $93\text{ }^{\circ}\text{C}$, *half life* dari termamil adalah 1500 menit, sedangkan pada temperature $107\text{ }^{\circ}\text{C}$, *half life* termamil tersebut adalah 40 menit. Hasil gelatinasi dari ke dua cara tersebut didinginkan sampai mencapai $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, kemudian ditambah SAN untuk proses sakarifikasi dan selanjutnya difermentasikan dengan menggunakan yeast (ragi) *Saccharomyzes cereviseae*.

2.4 Fermentasi

Proses fermentasi dimaksudkan untuk mengubah glukosa menjadi etanol/bioetanol (alkohol) dengan menggunakan yeast. Alkohol yang diperoleh dari proses fermentasi ini, biasanya alkohol dengan kadar 8 sampai 10 persen volume. Sementara itu, bila fermentasi tersebut digunakan bahan baku gula (molases), proses pembuatan etanol dapat lebih cepat. Pembuatan etanol dari molases tersebut juga mempunyai keuntungan lain, yaitu memerlukan bak fermentasi yang lebih kecil. Etanol yang dihasilkan proses fermentasi tersebut perlu ditingkatkan kualitasnya dengan membersihkannya dari zat-zat yang tidak diperlukan.

Alkohol yang dihasilkan dari proses fermentasi biasanya masih mengandung gas-gas antara lain CO_2 (yang ditimbulkan dari pengubahan glukosa menjadi etanol/bio-etanol) dan adehid yang perlu dibersihkan. Gas CO_2 pada hasil fermentasi tersebut biasanya mencapai 35 persen volume, sehingga untuk memperoleh etanol/bio-etanol yang berkualitas baik, etanol/bio-etanol tersebut harus dibersihkan dari gas tersebut. Proses pembersihan

(washing) CO₂ dilakukan dengan menyaring etanol/bio-etanol yang terikat oleh CO₂, sehingga dapat diperoleh etanol/bio-etanol yang bersih dari gas CO₂. Kadar etanol/bioetanol yang dihasilkan dari proses fermentasi, biasanya hanya mencapai 8 sampai 10 persen saja, sehingga untuk memperoleh etanol yang berkadar alkohol 95 persen diperlukan proses lainnya, yaitu proses distilasi. Proses distilasi dilaksanakan melalui dua tingkat, yaitu tingkat pertama dengan *beer column* dan tingkat kedua dengan *rectifying column*. Definisi kadar alkohol atau etanol/bio-etanol dalam % (persen) volume adalah “volume etanol pada temperatur 15 °C yang terkandung dalam 100 satuan volume larutan etanol pada temperatur tertentu (pengukuran)”.

Berdasarkan BKS Alkohol Spiritus, standar temperatur pengukuran adalah 27,5 °C dan kadarnya 95,5% pada temperatur 27,5 °C atau 96,2% pada temperatur 15 °C. Pada umumnya hasil fermentasi adalah bio-etanol atau alkohol yang mempunyai kemurnian sekitar 30 – 40% dan belum dapat dikategorikan sebagai *fuel based ethanol*. Agar dapat mencapai kemurnian diatas 95% , maka alkohol hasil fermentasi harus melalui proses destilasi.

2.5 Distilasi

Sebagaimana disebutkan diatas, untuk memurnikan bioetanol menjadi berkadar lebihdari 95% agar dapat dipergunakan sebagai bahan bakar, alkohol hasil fermentasi yang mempunyai kemurnian sekitar 40% tadi harus melewati proses destilasi untuk memisahkan alkohol dengan air dengan memperhitungkan perbedaan titik didih kedua bahan tersebut yang kemudian diembunkan kembali. Untuk memperoleh bio-etanol dengan kemurnian lebih tinggi dari 99,5% atau yang umum disebut *fuel based ethanol*, masalah yang timbul adalah sulitnya memisahkan hidrogen yang terikat dalam struktur kimia alkohol dengan cara destilasi biasa, oleh karena itu untuk mendapatkan *fuel grade ethanol* dilaksanakan pemurnian lebih lanjut dengan cara Azeotropic destilasi.

2.6 Karakteristik Bahan Lignoselulosa

Bahan lignoselulosa sebagai bahan baku bioetanol mempunyai kandungan utama tiga macam polimer yang berbeda, yang dikenal dengan lignin, hemiselulosa, dan selulosa, yang saling berikatan membentuk satu kesatuan yang utuh. Besarnya kandungan masing-masing komponen bergantung pada jenis biomassa, umur, dan kondisi lingkungan tempat biomassa tersebut tumbuh dan berkembang, ditunjukkan oleh tabel 2. Selulosa (C₆H₁₀O₅)_n merupakan komponen utama lignoselulosa berupa mikrofibril-mikrofibril homopolisakarida yang terdiri atas unit-unit β-D glukopiranosida yang terhubung melalui ikatan glikosidik (1,4). Struktur selulosa secara umum berbentuk kristalin, tetapi terdapat juga bagian bagian yang berbentuk amorph. Tingkat kekristalan selulosa mempengaruhi kemampuan hidrolisis baik secara enzimatik ataupun bahan kimia lain yang terkandung dalam

bahan lignoselulosa adalah hemiselulosa atau yang dikenal juga dengan poliosa, karena terdiri atas berbagai macam gula monomer, yaitu pentose (ksilosa, rhamnosa, dan arabinosa); heksosa (glukosa, manosa, dan galaktosa); dan asam uronik (4-O-metilglukoronik, D-glukoronik, dan D galaktoronik). Hemiselulosa mempunyai rantai polimer yang pendek dan tak berbentuk, sehingga sebagian besar dapat larut dalam air. Oleh karena itu, hemiselulosa relatif mudah dihidrolisis oleh asam menjadi monomermonomernya.

Tabel 2. Kandungan biomassa berbagai jenis bahan

Biomassa	Lignin (%)	Hemisel. (%)	Selulosa (%)
Hardwood	18-25	24-40	40-55
Softwood	25-35	25-35	45-50
Kulit kacang	30-40	25-30	25-30
Tongkol jagung	15	35	45
Kertas	0-15	0	85-99
Jerami gandum	15	50	30
Jerami padi	18	24	32,1
Dedaunan	0	80-85	15-20
Biji kapas	0	5-20	80-95
Kertas koran	18-30	25-40	40-55
Bagas	18,9	30	33,4
Rerumputan	10-30	25-50	25-40

Struktur molekul lignin sangat berbeda bila dibandingkan polisakarida karena terdiri atas sistem aromatik yang tersusun atas unit-unit fenilpropana: unit guaiacyl (G) dari prekursor trans-koniferil alkohol, unit syringyl (S) dari prekursor trans-sinapil alkohol, dan phidroksifenil (H) dari prekursor trans-p-koumaril alkohol. Lignin dapat dinyatakan dengan rumus $C_9H_7,16O_2,44(OCH_3)$ 1,36 per unit fenilpropana. Lignin dapat membentuk ikatan kovalen dengan beberapa komponen hemiselulosa, seperti ikatan benzyl ester dengan grup karboksil dari asam 4-O- metal-D glukoronik dalam ksilan. Ikatan eter yang lebih stabil, yang dikenal dengan nama *Lignin Carbohydrate Complexes* (LCC) yang terbentuk antara lignin dengan grup arabinosa atau galaktosa dalam ksilan atau manan. Oleh karena itu lignin sangat sulit untuk didegradasi. Sehingga keberadaannya memberikan bentuk lignoselulosa yang kompleks dan menghambat degradasi selulosa oleh mikroba ataupun bahan kimia lainnya.

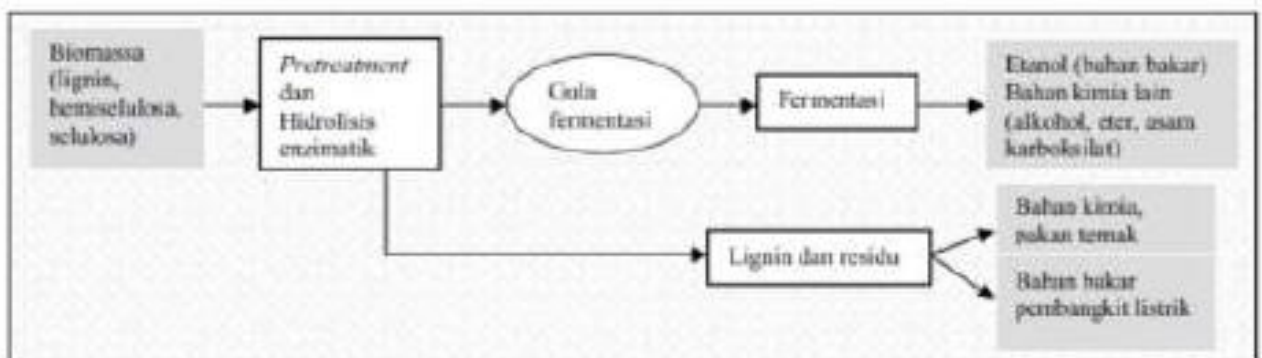
Bioetanol dapat diproduksi dari bahan lignoselulosa (biomassa). Lignoselulosa merupakan bahan yang mengandung karbohidrat yang berlimpah yaitu berupa selulosa dan hemiselulosa. Bahan ini dapat dikonversi menjadi energi ataupun bahan kimia lainnya. Tetapi keberadaannya dialam bersamaan dengan lignin yang membungkus matriks

selulosadan hemiselulosa, sehingga dalam pemanfaatannya memerlukan pengolahan awal(pretreatment) untuk membuka akses bagi enzim atau bahan kimia mencapai selulosaataupun hemiselulosa dan mendegradasi menjadi monomermonomer gula (gula fermentasi).

Biaya produksi pengolahan bioetanol dari biomassa saat ini masih dinilai sangat tinggi,dimana pretreatment memberikan kontribusi yang besar dalam perhitungan keekonomisanproses ini. Oleh karena itu para ahli mulai mencari dan mengembangkan prosespretreatment yang dinilai mampu menurunkan harga produksi melalui penghematan energidan biaya. Salah satu proses yang dilirik adalah pretreatment dengan menggunakanamoniak. Dari beberapa hasil penelitian yang menggunakan metoda ini, dapat dilihat adanya peningkatan perolehan gula fermentasi sehingga dapat meningkatkan perolehan bioetanol.Walaupun harga amoniak juga masih dapat dianggap mahal, tetapi karena beberapakeuntungan yang ditawarkan oleh penggunaan bahan ini, terutama sifatnya yang mudahmenguap sehingga dapat dijumpit dan digunakan kembali, maka diharapkan proses ini dapatmenekan biaya produksi. Sayangnya hingga saat ini belum ada yang mengkaji keefektifanproses ini dari segi ekonomi.

2.7 Pengolahan Biomassa

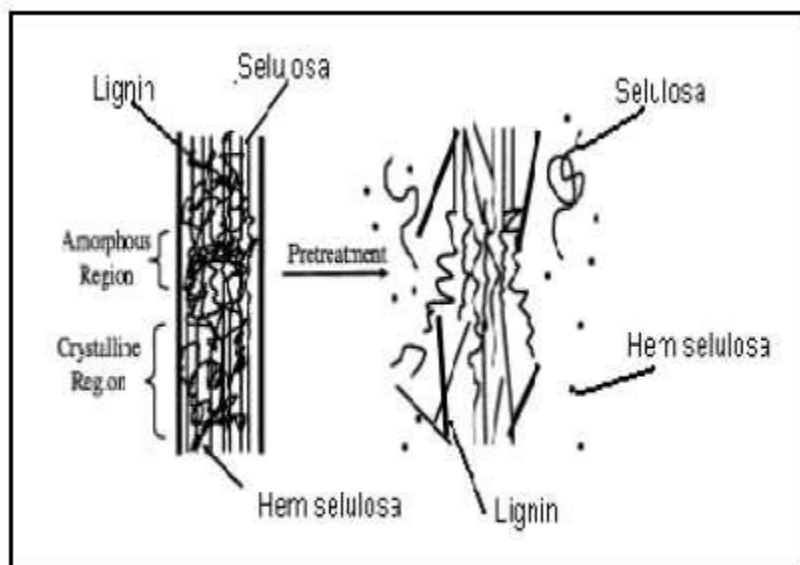
Indonesia merupakan penghasil biomassa yang cukup melimpah, baik yang berasal dari limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah industri, maupun limbah rumah tangga, contohnya tandan kosong sawit, tongkol jagung, bagas tebu, bagas sorgum manis, dan dedak padi. Dengan demikian Indonesia memiliki peluang yang besar dalam pengembangan teknologi konversi biomassa menjadi sumber energi.



Gambar 2. Skema Aliran Pemanfaatan Bahan Lignoselulosa sebagai Bahan Mentah Bioetanol, Bahan Kimia, Pakan Ternak, dan Energi

Perancangan dan implementasi teknologi berangkat dari konversi gula sederhana melalui proses fermentasi, hingga konversi multi tahap bahan lignoselulosa menjadi bioetanol. Kunci dari semua penelitian dibidang ini adalah untuk mengurangi biaya proses

sehingga meningkatkan daya saing bioetanol terhadap bahan bakar minyak bumi (gasoline). Faktor utama yang menjadi penyebab adalah tingginya tingkat kekompleksan yang menjadi sifat dalam pemrosesan bahan ini, sehingga membutuhkan pengolahan awal (*pretreatment*) untuk merubah struktur dan komposisi kimia dari lignoselulosa untuk memfasilitasi kecepatan dan efisiensi hidrolisis karbohidat menjadi gula fermentasi, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3. Dengan kata lain *pretreatment* merupakan kunci penting. Dan dinilai merupakan salah satu langkah proses yang mahal pada proses konversi biomassa menjadi bioetanol, sehingga sangat potensial untuk dikembangkan agar lebih efisien dan ekonomis.



Gambar 3. Skema Pengolahan Awal Biomassa

2.8 Pre-treatment Biomassa

Biomassa lignoselulosa memerlukan perlakuan awal (*pretreatment*) sebelum dihidrolisis menjadi gula dan difermentasi menjadi bioetanol. Perlakuan awal merupakan perlakuan pendahuluan terhadap bahan lignoselulosa sehingga mempermudah pelepasan hemiselulosa dan selulosa yang terikat kuat dengan lignin. Perlakuan awal dapat dilakukan secara fisik, kimia, biologis, ataupun kombinasi dari metode-metode itu. Penggunaan metode perlakuan awal telah dilakukan pada biomassa yang berbeda-beda, dan hasilnya bervariasi untuk setiap metode maupun jenis bahan yang digunakan.

Perlakuan awal secara kimia yang biasa digunakan untuk delignifikasi biomassa adalah asam dan basa. Perlakuan awal basa biasanya menggunakan larutan seperti NaOH, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dan amonia. Penggunaan perlakuan awal secara basa juga tergantung pada kandungan lignin yang terdapat dalam biomassa. Perlakuan awal secara asam digunakan tergantung pada kandungan biomassa, karena perlakuan ini menggunakan asam sulfat dan asam klorida pekat. Penggunaan larutan asam pekat tidak ekonomis dalam aplikasi secara komersial karena asam pekat merupakan larutan beracun, korosif dan berbahaya.

Perlakuan awal secara biologi menggunakan mikroorganisme untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa. Mikroorganisme yang dapat mendegradasi lignin antarlain dari kelompok *Actinomycetes* yang dapat menghasilkan enzim ligninase, jamur *Aspergillus niger* yang dapat menghasilkan enzim xilanase. Penggunaan perlakuan awal secara biologi memerlukan energi dan dampak lingkungan yang rendah, namun memerlukan waktu yang panjang.

Tantangan utama proses produksi bioetanol dari biomassa adalah *pretreatment* bahan mentah. *Pretreatment* ini dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan areapermukaan (porositas) selulosa sehingga dapat meningkatkan konversi selulosa menjadi glukosa (gula fermentasi). Metoda yang banyak digunakan untuk memecah rantai selulosa menjadi glukosa adalah hidrolisis dengan asam dan enzim. Masing-masing metoda mempunyai keuntungan dan kelemahan, tetapi faktor utama yang harus diperhatikan adalah pemakaian energi yang rendah dan rendahnya polusi yang dihasilkan dari proses tersebut.

Perkembangan teknologi *pretreatment* dewasa ini mengarah pada teknologi yang efektif, hemat energi dan hemat biaya. Salah satu teknologi yang ditawarkan adalah perendaman dalam larutan amoniak pada temperatur ruang (*SAA/soaking in aqueous ammonia*). Reagen ini efektif untuk menghilangkan lignin dari biomassa dengan reaksi utama menghidrolisis ikatan eter. Penggunaan reagen ini menawarkan beberapa keuntungan:

(1) mempunyai selektifitas yang tinggi terhadap lignin, (2) mempertahankan karbohidratdalam bentuk aslinya, (3) memperlihatkan efek pengembangan lignoselulosa yang signifikan, (4) interaksi yang sangat sedikit dengan hemiselulosa, dan (5) sangat *volatile* sehingga mudah dijumpit kembali. Kemampuan reagen ini bergantung kepada jenis biomassa. SAA sangat efektif digunakan untuk bahan dengan kandungan lignin yang rendah, contohnya limbah pertanian ataupun herbaceous biomass, tetapi tidak untuk bahan berkayu yang mengandung lignin yang tinggi. Karena itu biomassa yang paling banyak dipakai oleh para peneliti yang menggunakan metoda ini diantaranya switchgrass, dedak padi, jerami padi, tongkol jagung, dan gandum.

Pretreatment dipandang sebagai langkah proses yang paling banyak membutuhkan biaya, US\$ 0,3/gallon bioetanol, dan harga enzim diperkirakan US\$ 0.15/gallon bioetanol. Oleh karena itu, penelitian - penelitian yang mengarah pada penurunan biaya *pretreatment* masih terus dikembangkan. Sebagai perbandingan, biaya produksi bioetanol di Amerika dengan bahan mentah jagung pada kisaran US\$ 1,65/gallon, dan Brazil pada rentang US\$ 0,68 – US\$ 0,95/gallon dengan bahan mentah nira tebu. Walaupun dari aspek ekonomi belum dapat dibuktikan, tetapi metoda ini mempunyai prospek yang baik untuk dikembangkan mengingat (1) harga bahan mentah yang dapat dinilai nol karena merupakan limbah, dan (2) proses berlangsung pada atmosferik (temperatur) ruang sehingga mudah

dikerjakan dan tidak memerlukan peralatan canggih dan mahal. Kedepannya diharapkan dapat mengatasi permasalahan bangsa dalam hal penyediaan bahan bakar, penanganan limbah biomassa, dan peningkatan ekonomi masyarakat.

F. EVALUASI BELAJAR

1. Rangkuman

Alkohol merupakan bahan kimia yang diproduksi dari bahan baku tanaman yang mengandung pati seperti ubi kayu, ubi jalar, jagung, dan sagu biasanya disebut dengan bioetanol. Ubi kayu, ubi jalar, dan jagung merupakan tanaman pangan yang biasa ditanam rakyat hampir di seluruh wilayah Indonesia, sehingga jenis tanaman tersebut merupakan tanaman yang potensial untuk dipertimbangkan sebagai sumber bahan baku pembuatan bioetanol atau gasohol. Namun dari semua jenis tanaman tersebut, ubi kayu merupakan tanaman yang setiap hektarnya paling tinggi dapat memproduksi etanol. Selain itu pertimbangan pemakaian ubi kayu sebagai bahan baku proses produksi bio-etanol juga didasarkan pada pertimbangan ekonomi. Pertimbangan keekonomian pengadaan bahan baku tersebut bukan saja meliputi harga produksi tanaman sebagai bahan baku, tetapi juga meliputi biaya pengelolaan tanaman, biaya produksi pengadaan bahan baku, dan biaya bahan baku untuk memproduksi setiap liter etanol/bio-etanol.

Secara umum etanol/bio-etanol dapat digunakan sebagai bahan baku industri turunan alkohol, campuran untuk minuman keras, bahan dasar industri farmasi, campuran bahan bakar untuk kendaraan. Mengingat pemanfaatan etanol/bio-etanol beraneka ragam, sehingga grade etanol yang dimanfaatkan harus berbeda sesuai dengan penggunaannya. Untuk etanol/bio-etanol yang mempunyai grade 90-96,5% vol dapat digunakan pada industri, sedangkan etanol/bioetanol yang mempunyai grade 96-99,5% vol dapat digunakan sebagai campuran untuk minuman keras dan bahan dasar industri farmasi. Berlainan dengan besarnya grade etanol/bioetanol yang dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar untuk kendaraan yang harus betul-betul kering dan anhidrat supaya tidak korosif, sehingga etanol/bio-etanol harus mempunyai grade sebesar 99,5-100% vol.

Perbedaan besarnya grade akan berpengaruh terhadap proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air. Berdasarkan bahan bakunya, ada dua jenis generasi yaitu bioetanol generasi pertama dan bioetanol generasi kedua. Bioetanol generasi pertama, bahan baku yang digunakan berasal dari bahan berpati yang berbasis bahan pangan. Bioetanol generasi kedua, bahan bakunya berasal dari 8 limbah biomassa. Bioetanol generasi pertama mulai dikembangkan di Indonesia, namun bioetanol generasi ini harganya masih relatif tinggi karena bahan bakunya juga digunakan sebagai bahan pangan dan pakan. Bahan baku yang berbasis bahan makanan akan mengakibatkan persaingan antara

kebutuhan energi dengan kebutuhan pangan, dan terbentur penggunaan lahan yang luas untuk tanaman pangan tersebut. Untuk menurunkan harga dan menghindari konflik antar pangan dan energi, bioetanol generasi kedua perlu dikembangkan.

Bioetanol generasi kedua menggunakan bahan limbah biomassa. Limbah biomassa mempunyai jumlah cukup besar di Indonesia. Tahapan pembuatan bioetanol generasi kedua terdiri dari proses penghalusan, perlakuan awal (delignifikasi), hidrolisis (sakarifikasi), fermentasi, dan dilanjutkan proses destilasi (pemurnian).

Glukosa dapat dibuat dari pati-patian, proses pembuatannya dapat dibedakan berdasarkan zat pembantu yang digunakan, yaitu Hidrolisa asam dan Hidrolisa enzim. Berdasarkan kedua jenis hidrolisa tersebut, saat ini hidrolisa enzim lebih banyak dikembangkan, sedangkan hidrolisa asam (misalnya dengan asam sulfat) kurang dapat berkembang, sehingga proses pembuatan glukosa dari pati-patian sekarang ini dipergunakan dengan hidrolisa enzim. Dalam proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air dilakukan dengan penambahan air dan enzim; kemudian dilakukan proses peragian atau fermentasi gula menjadi etanol dengan menambahkan yeast atau ragi.

Selain etanol/bio-etanol dapat diproduksi dari bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat, juga dapat diproduksi dari bahan tanaman yang mengandung selulosa, namun dengan adanya lignin mengakibatkan proses penanggulangannya menjadi lebih sulit, sehingga pembuatan etanol/bio-etanol dari selulosa tidak perlu direkomendasikan. Meskipun teknik produksi etanol/bioetanol merupakan teknik yang sudah lama diketahui, namun etanol/bio-etanol untuk bahan bakar kendaraan memerlukan etanol dengan karakteristik tertentu yang memerlukan teknologi yang relatif baru di Indonesia antara lain mengenai neraca energi (*energy balance*) dan efisiensi produksi, sehingga penelitian lebih lanjut mengenai teknologi proses produksi etanol masih perlu dilakukan. Secara singkat teknologi proses produksi etanol/bio-etanol tersebut dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu gelatinasi, sakarifikasi, dan fermentasi.

2. Latihan

1. Mengapa proses pre-treatment biomassa memegang peran yang sangat vital dalam sintesis bioetanol ? Jelaskan !
2. Apa saja sumber bahan baku pembuatan bioetanol ? Sebutkan dan jelaskan !
3. Tuliskan reaksi fermentasi gula !

3. Tugas

1. Apa perbedaan antara biodiesel dengan bioetanol ? Jelaskan

2. Mengapa aplikasi penggunaan bioetanol di negara kita masih kurang jika dibandingkan negara maju ? Jelaskan jawaban anda !
3. Apa itu neraca energi ?

G. Penilaian Tugas

- 1) Tugas dibuat di blog mahasiswa
- 2) Blog di link ke web hybrid learning.
- 3) Blog tersebut harus mencantumkan logo dan nama Universitas Esa Unggul
- 4) Diselesaikan sebelum batas akhir penyerahan tugas

H. Daftar Pustaka

Arpiwi NL, (2015). *Petunjuk Praktikum Bioenergi*, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali

Octavia S, Soerawidjaja TH, Purwadi R, Putrawan IDGA (2011). *Pengolahan Awal Lignoselulosa menggunakan Amoniak untuk Meningkatkan Perolehan Gula Fermentasi*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" ISSN 1693 – 4393

Sari DA dan Hadiyanto (2013) *Proses Produksi Bioenergi Berbasis Bioteknologi*, Review. Jurnal Aplikasi Teknologi Pertanian, 2(3): 108-113

Widjaja A dan Gunawan S (2012). *Pengembangan Teknologi Produksi Bioetanol Generasi 2 melalui Pemanfaatan Selulosa dan Hemiselulosa dalam Jerami Padi*. Prosiding InSInas

BAB 3

BIOHIDROGEN

A. Pengantar

Bab ini akan membahas biohidrogen agar mahasiswa dapat memahami seluk beluk biohidrogen yang meliputi pengantar biohidrogen, produksi biohidrogen, serta peran biohidrogen sebagai energi alternatif terbarukan. Melalui pemahaman ini, diharapkan agar para mahasiswa dapat memahami isu serta wacana terkini terhadap energi alternatif generasi ketiga yaitu biohidrogen.

B. Kompetensi Dasar

Memiliki kemampuan dasar dalam pemahaman secara komprehensif mengenai biohidrogen

C. Kemampuan Akhir yang Diharapkan

Mahasiswa diharapkan mampu :

1. Memahami dan mampu menjelaskan definisi biohidrogen
2. Memaparkan proses produksi serta sintesis biohidrogen
3. Menganalisis isu dan wacana terkini mengenai biohidrogen khususnya dalam peranan pembangunan energi alternatif generasi ketiga

D. Kegiatan Pembelajaran

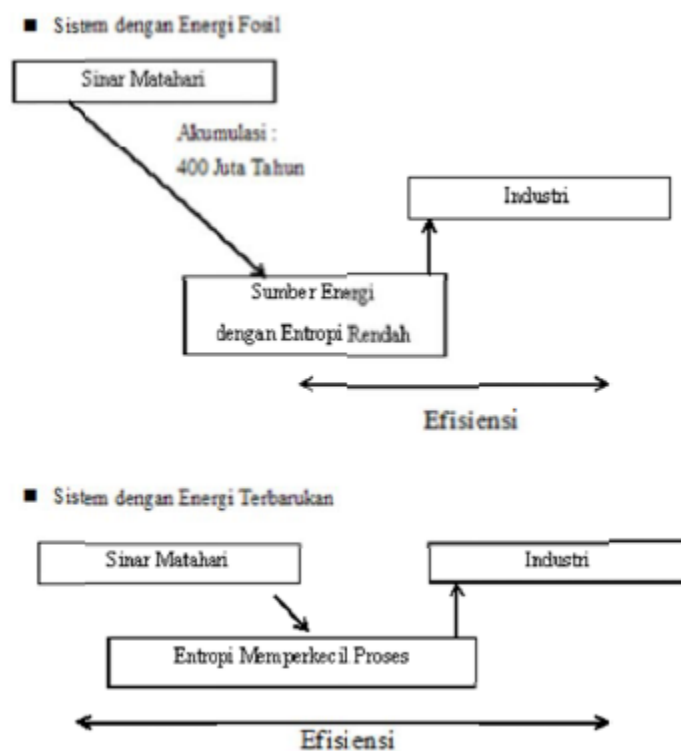
1. Pembelajaran dilakukan dengan metoda presentasi dosen, diskusi dan presentasi kelompok
2. Mahasiswa memahami penjelasan dosen selama 30 menit dan selanjutnya diajukan masalah ke setiap kelompok untuk didiskusikan dan setiap kelompok presentasi di depan kelas

E. MATERI

3.1 Pengenalan Biohidrogen

Revolusi industri pada abad ke 18 telah membangkitkan minat dunia bukan hanya pada aspek engineering, tetapi juga pada aspek energi. Sebelum revolusi industri, manusia bergantung kepada energi terbarukan seperti energi surya dan biomassa. Akan tetapi, penemuan mesin uap pada era tersebut telah mengubah mindset manusia untuk mengambil dan memanfaatkan energi fosil yang jumlahnya sangat terbatas.

Pada dasarnya energi fosil lebih berpotensi untuk merusak lingkungan dikarenakan memiliki densitas yang tinggi. Gas hidrogen (sebagai contoh), yang dihasilkan dari komponen biomassa, memiliki densitas energi yang rendah. Densitas energi yang lebih tinggi akan menghasilkan entropi energi yang lebih rendah karena hanya terkonsentrasi pada area yang relatif kecil. Pada gambar 1 dibawah ini digambarkan entropi energi :



Gambar 1. Entropi Energi

Pada gambar (atas) diatas perlu akumulasi sangat lama untuk dapat digunakan serta hanya terpusat di satu area saja, tetapi pada energi terbarukan yaitu pada gambar (bawah) seperti biomassa tak perlu ada akumulasi dan jumlahnya sangat melimpah. Sehingga energi yang terbarukan, dalam hal ini sistem biomassa dapat mengontrol entropi. Sistem biomassa inilah yang dikenal sebagai salah satu jenis penghasil bioenergi karena energi yang

dihasilkannya, didapat dari proses biologi yang jumlahnya lebih melimpah jika dibandingkan energi fosil.

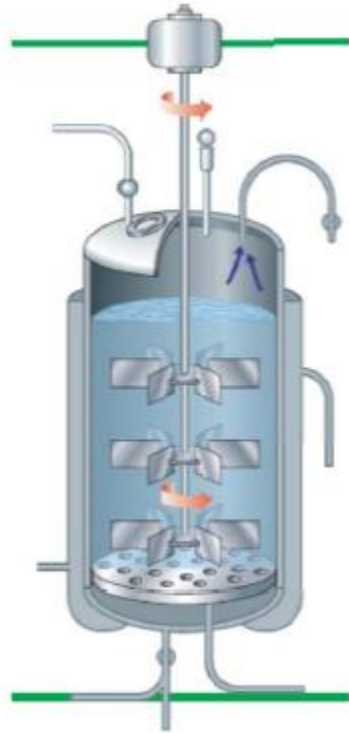
Jika dilihat dari definisinya, biohidrogen merupakan salah satu bentuk bioenergi yang diperoleh dari produksi gas hidrogen yang dilakukan oleh agen mikrobiologi seperti bakteri ataupun mikroalga. Pada prosesnya, agen mikrobiologi akan mengubah medium organik (biomassa), air menjadi gas hidrogen melalui jalur metabolisme dengan menggunakan bantuan enzim. Jika digunakan medium organik, maka hidrogen dapat dihasilkan dari agen mikrobiologi dengan mengubah karbohidrat sederhana seperti glukosa, sukrosa, serta laktosa.

Penelitian biohidrogen dimulai berdasarkan dua hal yaitu unsur hidrogen memiliki entalpi pembakaran yang cukup tinggi dan eksotermis (-286 kJ/mol) serta reaksi pembakaran unsur ini akan menghasilkan air sehingga tak akan mengemisikan gas karbondioksida penyebab efek rumah kaca. Jika hidrogen dapat diproduksi dari sumber yang dapat diperbarui (biomassa), maka energi yang dihasilkan sangat besar tetapi cenderung tak merusak lingkungan.

3.2 Produksi Biohidrogen

Pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, biohidrogen dapat diperoleh secara fotosintetik maupun secara anaerobik. Jika dilihat akan ketergantungannya akan cahaya, produksi biohidrogen dapat dilakukan melalui proses biofotolisis dan fermentasi yang membutuhkan cahaya (proses fotobiologi), serta fermentasi gelap yang tidak membutuhkan cahaya. Sedangkan berdasarkan bahan bakunya, biohidrogen dapat diproduksi dengan proses biofotolisis serta fermentasi.

Selain proses pembentukan, performa biohidrogen juga akan sangat bergantung pada desain bioreaktor yang meliputi kontrol operasi, jenis katalis yang digunakan, serta pemurnian produk. Pada gambar 2 dibawah ini akan disajikan beberapa gambar yang mengilustrasikan desain dan tipe bioreaktor :



Gambar 2. Fermentor Tipe Industri



Gambar 3. Fotobioreaktor Plat Rata untuk Bakteri Fotosintetik



Gambar 4. Fotobioreaktor Tubular dengan Pertukaran Gas Eksternal

Hal yang penting dalam desain bioreaktor adalah bentuk energi yang diperlukan untuk mengkonversi hidrogen, baik itu energi cahaya, energi medium organik, serta kombinasi keduanya. Proses produksi hidrogen yang dikendalikan cahaya memerlukan desain fotobioreaktor yang tembus cahaya, tertutup serta dapat menunjang kondisi lingkungan yang cocok bagi keberlangsungan hidup mikroba sebagai katalis.

Selain itu, neraca energi dalam desain bioreaktor juga harus diperhitungkan untuk menjaga kondisinya tetap optimal. Umumnya fotobioreaktor yang tertutup sangat terpengaruh panas dari lingkungan. Dampak ini sangat jelas terutama pada wilayah dengan 4 musim. Pada kondisi musim panas, dimana suhu sangat tinggi serta kondisi bioreaktor menjadi sangat panas, dapat dikontrol dengan menggunakan bantuan spray. Sebaliknya pada kondisi musim dingin, suhu menjadi turun serta dapat terjadi kehilangan panas yang besar pada bioreaktor, maka ia bisa dilengkapi dengan bantuan jaket.

Faktor lain yang mempengaruhi desain bioreaktor adalah kelebihan tekanan dari gas H_2 yang dapat mengurangi laju pembentukan hidrogen jika prosesnya merupakan fermentasi gelap pada kondisi anaerob, akan tetapi hal ini tidak begitu berpengaruh untuk reaksi fotosintetik. Perawatan, pembersihan berkala dari sistem, kontrol hidrolis dan persiapan medium juga dapat mempengaruhi performa dari kolom bioreaktor yang akhirnya akan menentukan capital cost dari keseluruhan proses tersebut.

3.3 Peran Biohidrogen sebagai Energi Alternatif

Dalam beberapa dekade ini, konsumsi energi global dunia terus menanjak hingga sekitar 14 Terawat. Sehingga diperkirakan konsumsi hidrogen dunia juga akan terus meningkat tiap waktunya sampai ± 500 milyar m^3 yang digunakan pada berbagai macam proses. Jumlah ini diperkirakan dapat menghasilkan 6,5 EJ dari energi dan setara dengan konsumsi 1,5 % energi dunia. Umumnya hidrogen digunakan untuk industri pupuk dan kilang minyak, dimana saat ini permintaannya mencapai 50 juta ton tiap tahun dengan laju sekitar 4 – 10 % per tahun dan akan terus meningkat. Pada kilang minyak, hidrogen dimanfaatkan untuk menghasilkan bahan bakar transportasi dengan kadar hidrogen sekitar 15% sehingga dapat diperoleh bahan bakar transportasi jet (gasoline) yang ramah lingkungan. Hidrogen juga merupakan kandidat bahan bakar transportasi yang paling menjanjikan di masa yang akan datang.

Berbagai uji coba kendaraan *fuel cell* (yang bersumber dari hidrogen) oleh industri-industri otomotif terkemuka dunia sejak lebih dari 50 tahun terakhir mulai menunjukkan titik terang dalam pemanfaatan *fuel cell* berbasis hidrogen sebagai bahan bakar kendaraan. Jika hasil uji coba ini memberikan hasil yang positif, diperkirakan pada akhir dasawarsa ini akan menjadi awal era mobil *fuel cell* di dunia. Pada saat itulah akan terjadi lonjakan permintaan

hidrogen dalam jumlah sangat besar. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan biohidrogen di masa depan sangat potensial.

Beberapa keuntungan dan kerugian penggunaan hidrogen sebagai energi alternatif diantaranya :

Keuntungan :

1. Biaya energi lebih rendah
2. Pembakaran hidrogen pada *automobil* 50 % lebih efisien jika dibandingkan bensin
3. Hidrogen dapat dijual dalam bentuk metal hidrida
4. Hidrogen memiliki efisiensi konversi sebesar 55-60 % dibandingkan dengan metanayang hanya 33 %
5. Dapat menyokong energi otonom, pertanian, dan kebijakan keamanan (menghindari perang energi fosil)
6. Ramah pada lingkungan dan iklim (bebas dari CO₂ penyebab gas rumah kaca)
7. Memiliki aplikasi industri yang luas

Kerugian :

1. Produksi hidrogen dapat terhambat oleh kehadiran senyawa ammonia
2. Enzim hidrogenase terhambat dengan kehadiran inhibitor seperti gas oksigen
3. Merupakan sumber energi yang masih lebih lemah dibanding metana. 12.5 liter gas metana menghasilkan energi 100 kalori, sementara dengan volume yang sama, gas hidrogen hanya mampu menghasilkan energi 30 kalori
4. Bahan bakar hidrogen sangat berbahaya dikarenakan mudah sekali terbakar

F. EVALUASI BELAJAR

1. Rangkuman

Pada dasarnya energi fosil lebih berpotensi untuk merusak lingkungan dikarenakan memiliki densitas yang tinggi. Gas hidrogen (sebagai contoh), yang dihasilkan dari komponen biomassa, memiliki densitas energi yang rendah. Jika dilihat dari definisinya, biohidrogen merupakan salah satu bentuk bioenergi yang diperoleh dari produksi gas hidrogen yang dilakukan oleh agen mikrobiologi seperti bakteri ataupun mikroalga. Pada prosesnya agen mikrobiologi akan mengubah medium organik (biomassa), air menjadi gas hidrogen melalui jalur metabolisme dengan menggunakan bantuan enzim. Jika digunakan medium organik, maka hidrogen dapat dihasilkan dari agen mikrobiologi dengan mengubah karbohidrat sederhana seperti glukosa, sukrosa, serta laktosa.

Penelitian biohidrogen dimulai berdasarkan dua hal yaitu unsur hidrogen memiliki entalpi pembakaran yang cukup tinggi dan eksotermis (-286 kJ/mol) serta reaksi pembakaran unsur ini akan menghasilkan air sehingga tak akan mengemisikan gas karbondioksida penyebab efek rumah kaca. Jika hidrogen dapat diproduksi dari sumber

yang dapat diperbarui (biomassa), maka energi yang dihasilkan sangat besar tetapi cenderung tak merusak lingkungan.

Pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, biohidrogen dapat diperoleh secara fotosintetik (cahaya/terang) maupun secara anaerobik (gelap). Jika dilihat akan ketergantungannya akan cahaya, produksi biohidrogen dapat dilakukan melalui proses biofotolisis dan fermentasi yang membutuhkan cahaya (proses fotobiologi), serta fermentasi gelap yang tidak membutuhkan cahaya. Sedangkan berdasarkan bahan bakunya, biohidrogen dapat diproduksi dengan proses biofotolisis serta fermentasi.

Beberapa keuntungan dan kerugian penggunaan hidrogen sebagai energi alternatif diantaranya :

Keuntungan :

1. Biaya energi lebih rendah
2. Pembakaran hidrogen pada *automobil* 50 % lebih efisien jika dibandingkan bensin
3. Hidrogen dapat dijual dalam bentuk metal hidrida
4. Hidrogen memiliki efisiensi konversi sebesar 55-60 % dibandingkan dengan metana yang hanya 33 %
5. Dapat menyokong energi otonom, pertanian, dan kebijakan keamanan (menghindari perang energi fosil)
6. Ramah pada lingkungan dan iklim (bebas dari CO₂ penyebab gas rumah kaca)
7. Memiliki aplikasi industri yang luas

Kerugian :

1. Produksi hidrogen dapat terhambat oleh kehadiran senyawa ammonia
2. Enzim hidrogenase terhambat dengan kehadiran inhibitor seperti gas oksigen
3. Merupakan sumber energi yang masih lebih lemah dibanding metana. 12.5 liter gas metana menghasilkan energi 100 kalori, sementara dengan volume yang sama, gas hidrogen hanya mampu menghasilkan energi 30 kalori
4. Bahan bakar hidrogen sangat berbahaya dikarenakan mudah sekali terbakar

2. Latihan

1. Apa bedanya biodiesel, bietanol, dan biohidrogen ? Serta mana yang paling banyak dalam menghasilkan nilai kalor ?
2. Apa saja cara memproduksi biohidrogen ?
3. Sebutkan macam-macam model bioreaktor untuk mensintesis biohidrogen !

3. Tugas

1. Apa saja aplikasi pemanfaatan biohidrogen di masa mendatang ?

2. Mengapa sampai sekarang negara kita masih sulit memanfaatkan biohidrogen berbasis bahan baku biomassa dari hasil kekayaan alam kita ? Uraikan jawaban anda !
3. Cari wacana mengenai riset serta penerapan teknologi berbasis bioenergi yang lebih canggih di negara lain ! ceritakan, serta menurut kalian apa yang dapat kita ambil dan terapkan untuk riset berbasis bioenergi di negara kita dari negara-negara tersebut ?

G. Penilaian Tugas

- 1) Tugas dibuat di blog mahasiswa
- 2) Blog di link ke web hybrid learning.
- 3) Blog tersebut harus mencantumkan logo dan nama Universitas Esa Unggul
- 4) Diselesaikan sebelum batas akhir penyerahan tugas

H. Daftar Pustaka

Bambang T., (2012). *Perancangan Awal Pabrik Biohidrogen dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Fermentasi Anaerobik pada Kondisi Termofilik*. Jurnal Teknik Kimia USU.

Hidayanto, A. P. (2015). *Sintesis Hidrogen oleh Chlorella sp. yang dikultivasi dengan Variasi Medium Tumbuh Susu dan Kecap melalui Proses Fermentasi Cahaya*. Tesis, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Miyake. (1998). *The Science of Biohydrogen: an Energetic View* (pp. 9–18).

Zaborsky, O. R. (1998). *BioHydrogen*. (O. R. Zaborsky, J. R. Benemann, T. Matsunaga, & A. S. Pietro, Eds.). New York: Plenum Press.