

Bioteknologi Bidang Energi : Biodiesel & Biogas

Driving the Future

Yeni Widiyawati, M.Pd

 More Information
yeni.widiyawati262gmail.com



Tujuan Pembelajaran

- Menguasai jenis-jenis bioenergi: Biodiesel dan Biogas



Pendahuluan

- Energi dibutuhkan semua lapisan masyarakat untuk beragam keperluan: transportasi, industri, maupun rumah tangga
- kebutuhan dunia akan minyak bumi mencapai 10.000 juta ton/tahun
- Krisis energi akan memperparah harga minyak bumi dunia
- Mendorong manusia berpindah ke energi alternatif

Beragam Sumber Energi terbarukan

Energi Angin dan
Ocean Thermal Energy
Conversion (OTEC)

Energi Tenaga
Matahari

Geothermal Energy
dan Energi Biomassa



Ketergantungan Energi Fosil

Merupakan masalah fundamental sistem energi Nasional dan Global

Ancaman Ketahanan Energi

Fosil Fuel Mulai diganti Biofuel

Dominasi fosil fuel di Indonesia mencapai 95%

Kebijakan RUEN (Rencana Umum Energi Nasional) meningkatkan peran energi terbarukan minimal 23% pada 2025 dan 32% di 2030



Minyak Nasional



Minyak Nasional

Konsumsi bahan bakar fosil meningkat sementara Produksi Menurun



Energi Alternatif

beragam sumber energi terbarukan misalnya solar cell, dari angin, nuklir maun geothermal terus dikembangkan



Sumber Energi terbarukan

Minyak nabati sebagai bienergi atau biofuel misalnya biodiesel, bioetanol sebagai pengganti minyak diesel dan bensin.

Biodiesel

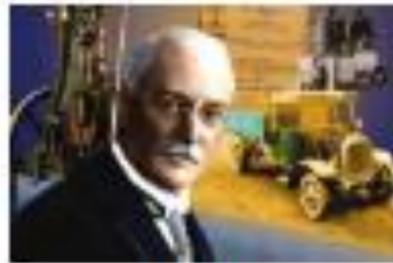
- Mesin diesel dengan bahan bakar minyak kacang tanah (crude peanut oil) pertama di dunia dikenalkan oleh Rudolf Diesel pada pameran Paris Exposition 1900
- Penggunaan minyak nabati pada mesin diesel menurun setelah 1930 akibat perkembangan eksplorasi minyak bumi
- 1970 terjadi embargo minyak bumi dan harganya meningkat drastis
- 1980 industri dunia mulai mengembangkan bahan bakar alternatif berbasis minyak nabati pengganti fosil fuel



Biodiesel

- Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) melakukan penelitian biodiesel pada 1990-an
- Kembali mencuat setelah adanya praturan B20 di 2016
- Tren Dunia untuk B5-B10 stabil hingga kini





1900



1930



1970-1980



1990



2001



2005



2016 - Saat
ini

- 1990 : Mesin diesel berbahan bakar minyak nabati pertama kali diperkenalkan di dunia
- 1930 : Eskplorasi minyak bumi berkembang pesat, penggunaan minyak nabati untuk mesin diesel menurun
- 1970-1980 : Penggunaan minyak nabati kembali meningkat akibat embargo minyak bumi
- 1990 : PPKS memulai penelitian biodiesel berbasis sawit di Indonesia
- 2001 : Workshop biodiesel berbasis minyak sawit diadakan oleh PPKS
- 2005 : Roadtest biodiesel sawit pertama di dunia diadakan oleh PPKS
- 2016 - Saat ini : Kebijakan Mandatori B20-B30 di Indonesia

Bagan timeline sejarah perkembangan biodiesel

Bahan Baku Biodiesel

American Society Testing Machine (ASTM) D6751, biodiesel merupakan mono alkil ester asam lemak rantai panjang yang diturunkan dari minyak nabati dan minyak hewani (ASTM, 2020)

Transesterifikasi:

Minyak dari nabati maupun lemak hewani dengan metanol menghasilkan metil ester asam lemak atau biodiesel yang memiliki viskositas rendah karena pemisahan dengan gliserol



Gugus mono alkil diperoleh dari alkohol seperti metanol, etanol atau alkohol lainnya



ASTM tidak mensyaratkan jenis alkohol dan sumber minyak sepanjang memenuhi baku mutu



Baku mutu biodiesel di Eropa mensyaratkan mono alkil hanya dari metanol atau FAME (*fatty acid methyl ester*)



Bahan Baku Bioediesel

- Bahan baku biodiesel yang paling potensial yaitu minyak sawit, berdasarkan jumlah pasokan dan harga dibanding minyak nabati lainnya.
- Minyak sawit memiliki produktifitas 3,62 ton/ha/tahun atau 5,3x lebih besar dibanding minyak repessed;, 7,8x lebih besar dibanding minyak bunga matahari, 9x lebih besar dibanding minyak kedelai



Minyak soya, dan minyak rapeseed juga sering digunakan dengan persentase 20%



bahan baku lainnya yaitu minyak bunga matahari



Rapeseed

Karakteristik Biodiesel

- Terobosan renewable energy, sebagai second generation fuel
- Belum tergolong greenfuel (tidak seperti bioethanol) karena masih membutuhkan alkohol dan katalis dalam proses produksinya (non renewable)
- Biodiesel lebih unggul dibanding minyak diesel dari minyak bumi berdasarkan aspek lingkungan yaitu :



Biodegradabilitas biodiesel lebih tinggi



Emisi NOx lebih kecil



Tidak ada emisi Sulfur (S) maupun Timbal (Pb)



Bahan Baku Biodiesel

- di Eropa, menggunakan minyak bunga matahari dan rapeseed
- di Amerika, menggunakan minyak kedelai dan bungkil kedelai
- di Asia umumnya menggunakan minyak sawit



Biodiesel dapat diproduksi dari bahan baku :

- Minyak sawit mentah (Crude Palm Oil, CPO)
- maupun produk rafinasinya yaitu RBDPO (Refined, Bleached, Deodorized Palm Oil), RBD Palm Oil, RBD Palm Stearin

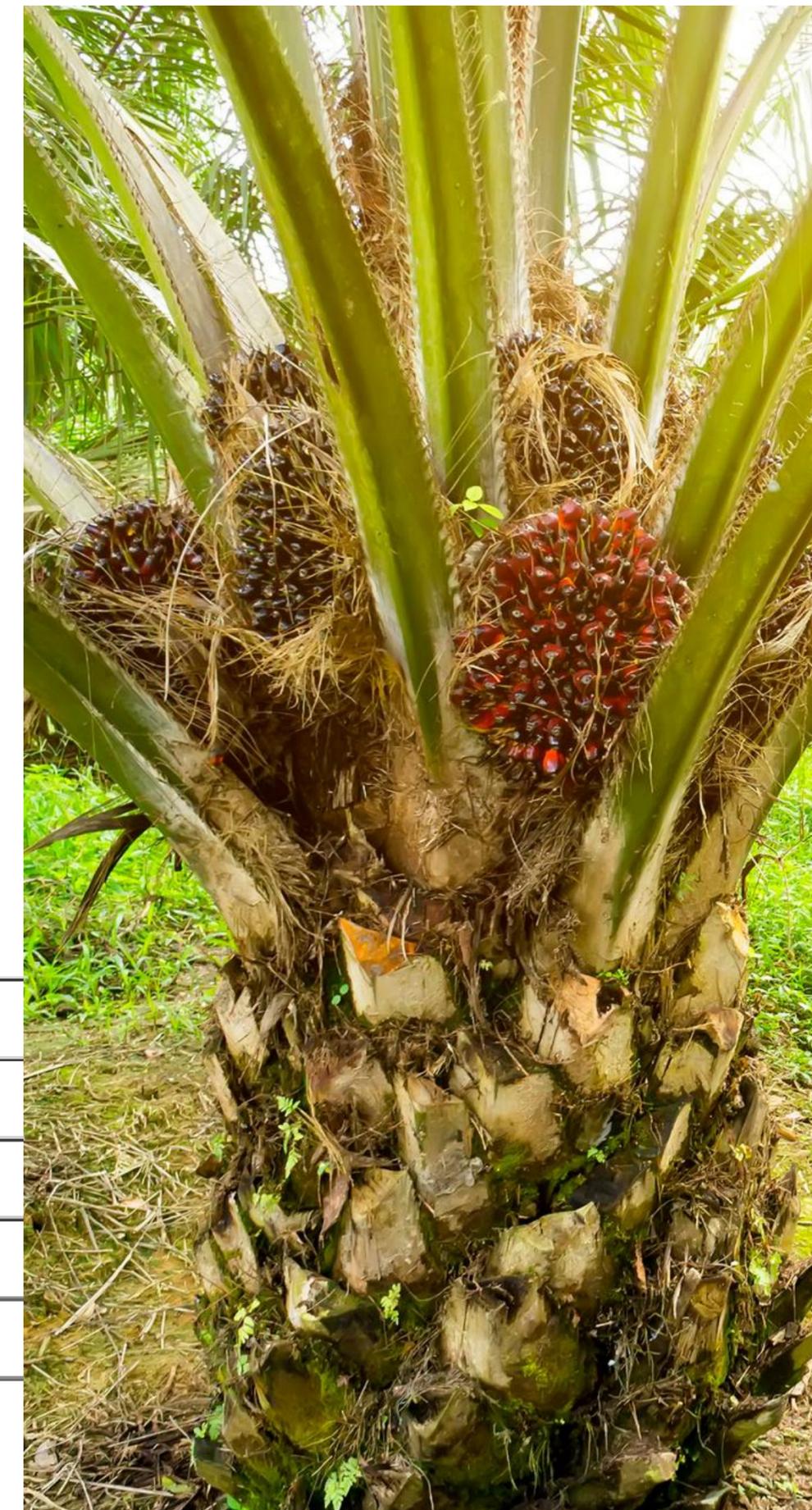
Syarat Bahan Baku Biodiesel Sawit

- Setiap jenis bahan baku dari minyak sawit memiliki nilai asam lemak bebas (ALB) yang berbeda.
- ALB yang tinggi akan menurunkan rendemen produksi biodiesel.
- Industri biasanya menggunakan RBDPO karena ALB lebih rendah dibanding CPO, dan harga lebih rendah.

Kandungan Asam Lemak Bebas (ALB) Minyak

No.	Jenis Minyak Sawit	ALB (%)
1	CPO	1,26-7,00
2	RBDPO	0,03-0,08
3	RBD Palm Olein	0,02-0,07
4	RBD Palm Stearin	0,03-0,09

Sumber : Hasibuan, 2012



Bahan Baku Lain Biodiesel



Produksi biodiesel juga dapat dilakukan dengan:

- minyak goreng bekas (jelantah)
 - minyak non edible,
 - lemak hewani.
-
- Dalam kasus produksi biodiesel skala industri, terdapat kebutuhan akan feedstock berbiaya rendah seperti crude oil, minyak goreng bekas, jelantah, dan minyak non edible.
-
- Penggunaan feedstock berbiaya rendah untuk produksi biodiesel dapat menurunkan selisih harga biodiesel dengan petrodiesel sekaligus meminimalkan persaingan antara permintaan minyak nabati yang edible dan kebutuhan akan biofuel (Zhang et al., 2003).

Mutu Biodiesel

- Biodiesel berbasis minyak sawit memiliki karakteristik mirip petrodiesel
- biodiesel minyak sawit memenuhi parameter standar nasional (SNI 7182:2015) dan internasional spesifikasi biodiesel seperti EN 14214 dan ASTM D6751



Teknologi Produksi Biodiesel



Mikroemulsi

Dispersi termal stabil dari cairan tak bercampur yang distabilkan dengan surfaktan atau kosurfaktan untuk produksi biodiesel



Thermal Cracking (Pirolisis)

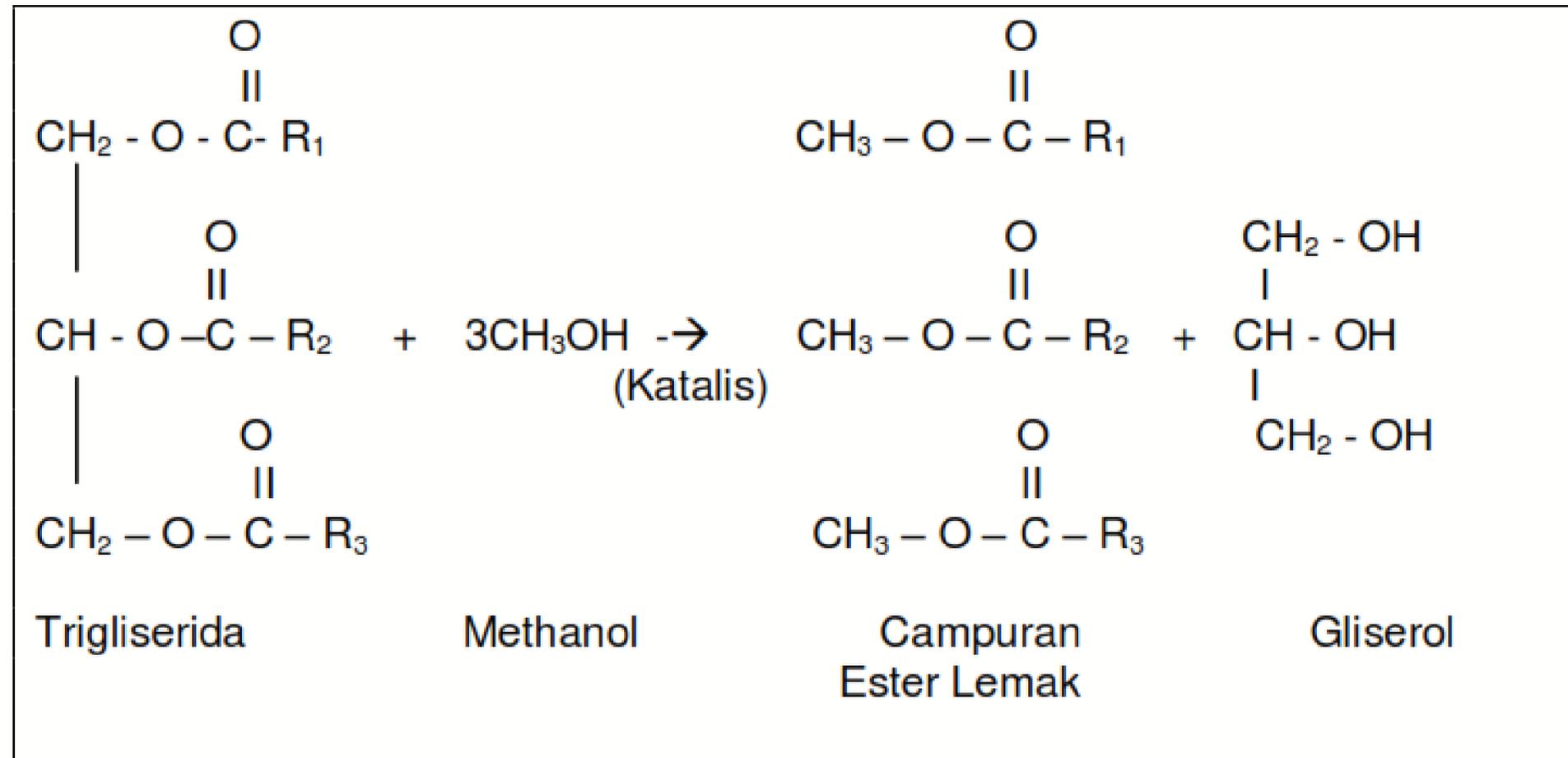
Proses konversi yang melibatkan pemanasan dalam ketiadaan oksigen atau dengan penggunaan katalis

Transesterifikasi dan Esterifikasi

- Biodiesel atau *fatty acid methyl ester* (FAME) secara umum diproduksi menggunakan reaksi transesterifikasi antara trigliserida (senyawa utama dalam minyak nabati) dan alkohol (methanol atau etanol).
- Minyak nabati dengan kadar asam lemak bebas (ALB)-nya rendah (<1%), bila lebih, maka perlu pretreatment karena berakibat pada rendahnya kinerja efisiensi.
- Padahal standar perdagangan dunia kadar ALB yang diijinkan hingga 5%.
- Jadi untuk minyak nabati dengan kadar ALB >1%, perlu dilakukan deasidifikasi dengan reaksi metanolisis atau dengan gliserol kasar.
- Hampir semua biodiesel diproduksi dengan metode transesterifikasi dengan katalisator basa atau katalisator alkalin kuat (NaOH, KOH atau sodium silikat) karena lebih ekonomis dan hanya memerlukan suhu dan tekanan rendah.
- Hasil konversi yang bisa dicapai dari proses ini adalah bisa mencapai 98%.
- Proses ini merupakan metode yang cukup krusial untuk memproduksi biodiesel dari minyak/lemak nabati.



Reaksi Transesterifikasi



100 lbs Minyak Nabati + 10 lbs Methanol → 100 lbs Biodiesel + 10 lbs gliserol

- Reaksi transesterifikasi ini secara alami merupakan reaksi reversible dan dapat berjalan dengan atau tanpa katalis (Sharma et al., 2018).
- Reaksi ini juga dapat disebut sebagai alkoholisis karena melibatkan penukaran alkil rantai karbon (-R) dari ester trigliserida dengan alkil rantai karbon dari alkohol
- Trigliserida bereaksi dengan 3 molekul methanol sehingga menghasilkan 3 molekul fatty acid methyl ester (FAME).
- Reaksi ini juga menghasilkan sebuah molekul gliserol.
- Hal inilah yang menyebabkan reaksi transesterifikasi dengan methanol lebih umum dilakukan pada skala komersial.
- Hasil samping berupa gliserol ini memiliki nilai sehingga dapat meningkatkan nilai produk dari reaksi yang berlangsung.

Prospek Biodiesel di Indonesia

- Produksi minyak kelapa wait di Indonesia pada 2020 mencapai 51,58 juta ton
- Porsi konsumsi dalam negeri sekitar 17,37 juta ton (33,67%)
- Minyak sawit untuk non pangan sebesar 9 juta ton==> **8,35 juta ton untuk biodiesel**
- Data ESDM tahun 2019, implementasi B20 di 2018 menghemat impor diesel minyak bumi sebesar 26,27 triliun.
- Prospek pasar dalam negeri menyebabkan industri biodiesel meningkatkan kapasitas produksi



Proses Pembuatan Biodiesel

Diperoleh melalui Reaksi **Transesterifikasi**

Reaksi transesterifikasi :

Reaksi alkohol dengan trigliserida yang menghasilkan metil ester dan gliserol dengan bantuan **katalis basa**.

Reaksi ini cenderung lebih cepat membentuk metil ester daripada reaksi esterifikasi yang menggunakan katalis asam.

Reaksi Transesterifikasi :

Minyak dari nabati maupun lemak hewani dengan metanol menghasilkan metil ester asam lemak atau biodiesel yang memiliki viskositas rendah karena pemisahan dengan gliserol. Reaksi ini dibantu dengan aktalis basa.

Bahan baku yang akan digunakan pada reaksi transesterifikasi harus memiliki **asam lemak bebas yang kecil (<5%)** untuk menghindari pembentukan sabun.



Faktor yang Mempengaruhi Rendemen Ester yang dihasilkan dalam Transesterifikasi

Rasio Molar antara trigliserida dan alkohol

Agar reaksi dapat bergeser ke arah produk, alkohol yang ditambahkan harus berlebih dari kebutuhan stoikiometrinya. Peningkatan alkohol terhadap trigliserida akan meningkatkan konversi tetapi menyulitkan pemisahan gliserol.



Jenis katalis yang digunakan

Penggunaan katalisator berguna untuk menurunkan tenaga aktivasi sehingga reaksi berjalan dengan mudah. Bila tenaga aktivasi kecil maka harga konstanta kecepatan reaksi bertambah besar.



Temperatur reaksi

- Transesterifikasi dapat dilakukan pada berbagai temperatur, tergantung jenis trigliserida yang digunakan.
- Semakin tinggi temperatur, laju reaksi akan semakin cepat.
- Temperatur selama reaksi transesterifikasi dapat dilakukan pada rentang temperatur 30-65°C.
- Perubahan temperatur reaksi menyebabkan gerakan molekul semakin cepat (tumbukan antara molekul pereaksi meningkat).
- Temperatur mempengaruhi viskositas dan densitas, karena viskositas dan densitas merupakan dua parameter fisis penting yang mempengaruhi pemanfaatan biodiesel sebagai bahan bakar.



Lanjutan...

Faktor yang Mempengaruhi Rendemen Ester yang dihasilkan dalam Transesterifikasi



Kandungan Air dan Asam Lemak Bebas

Terdapatnya air dalam trigliserida menyebabkan terjadinya reaksi saponifikasi yang dapat menurunkan tingkat efisiensi katalis. Jika kandungan asam lemak bebasnya tinggi maka akan dibutuhkan banyak basa.



Kecepatan Pengadukan

Setiap reaksi dipengaruhi oleh tumbukan antar molekul yang larut dalam reaksi dengan memperbesar kecepatan pengadukan maka jumlah tumbukan antar molekul zat pereaksi akan semakin besar sehingga kecepatan reaksi akan bertambah besar.

Proses Pembuatan Minyak Nabati Menjadi Biodiesel

- Minyak nabati merupakan trigliserida melalui reaksi transesterifikasi dengan methanol akan menghasilkan, gliserin, metil stearate, metil oleate.
- Metil oleate atau biodiesel dan gliserin harus dipisahkan melalui suatu tangki-pengendap.
- Setelah gliserin dipisahkan larutan dicuci dengan air dan selanjutnya didistilasi sehingga menghasilkan biodiesel sesuai standard yang diinginkan.
- Masalah yang timbul pada proses transesterifikasi dengan metoda relatif mahal, disamping itu hasil samping gliserin harus diproses lagi agar dapat dimanfaatkan lagi untuk industri terkait lainnya.
- **Produk akhir** yaitu **biodiesel** : bahan bakar untuk mesin/motor menghasilkan **emisi NOx sedikit lebih tinggi, tetapi emisi CO yang lebih rendah** dibandingkan dengan emisi yang dihasilkan dalam pemanfaatan BBM.



Teknologi Proses Pembuatan Biodiesel

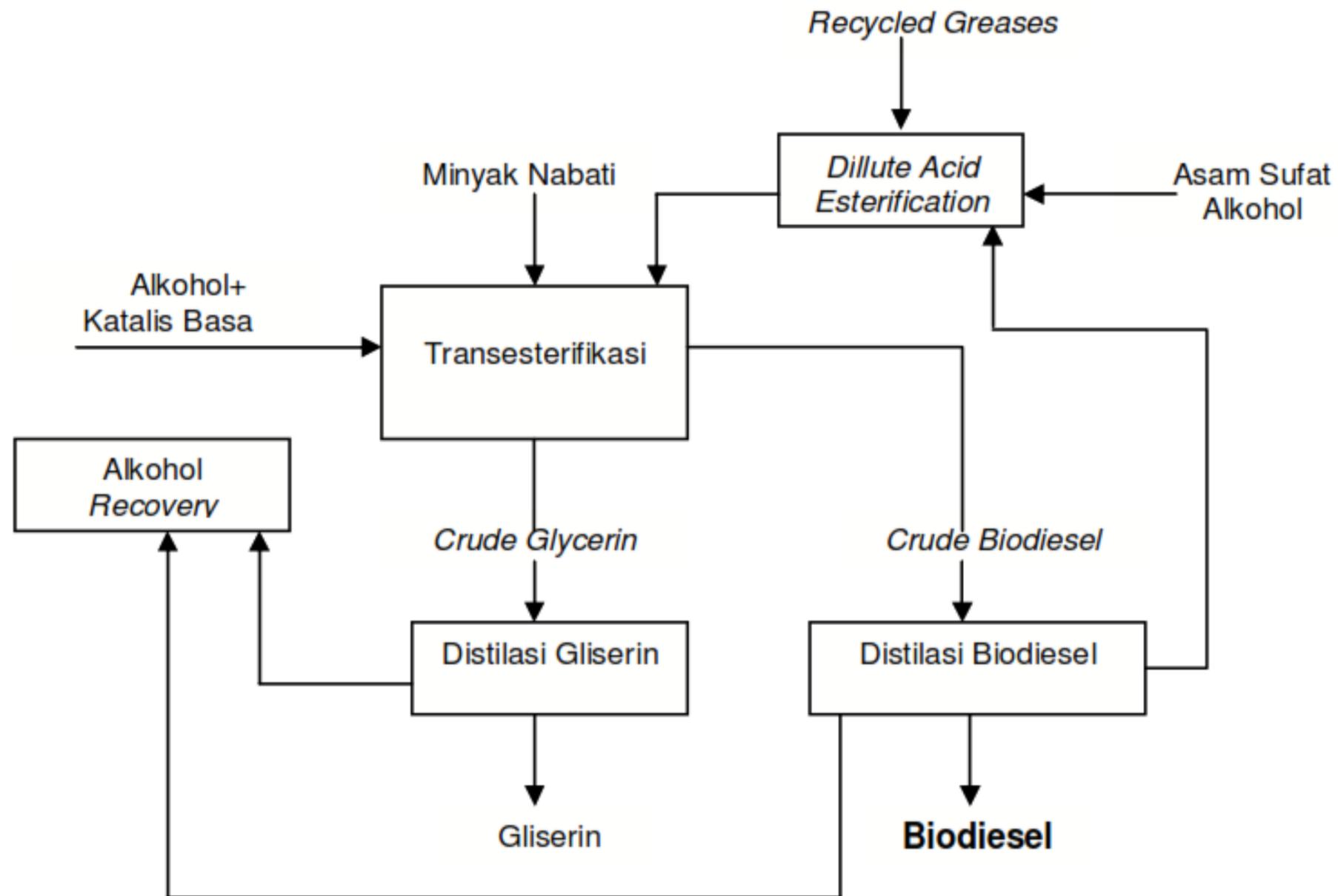


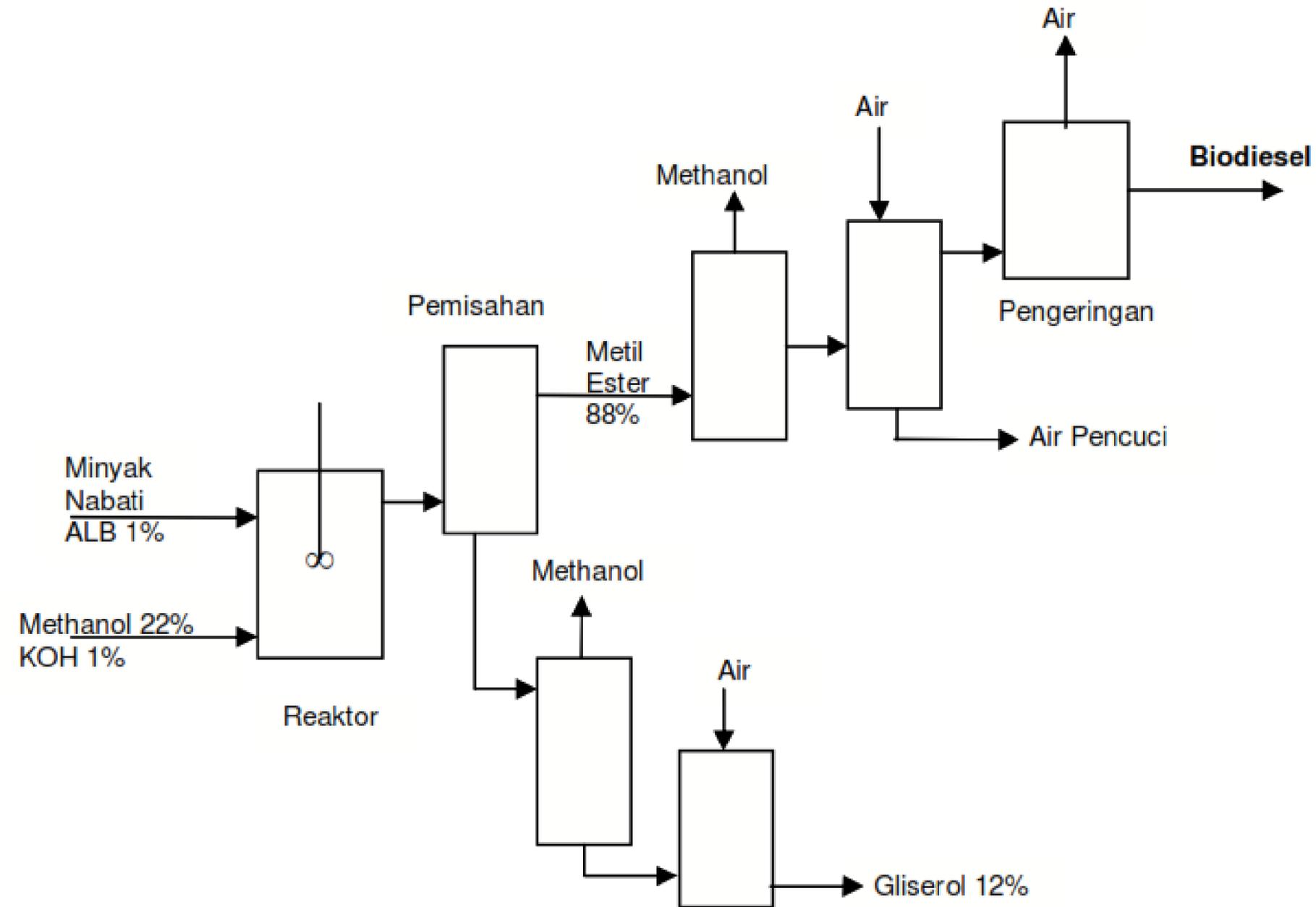
Diagram Proses Pembuatan Biodiesel

Tahapan Proses Pembuatan Minyak Nabati Menjadi Biodiesel

- 1. Persiapan bahan baku :** Tahap ini mencakup persiapan bahan baku yang akan digunakan, seperti minyak nabati, minyak jelantah, atau lemak hewani. Bahan baku harus disiapkan dengan memastikan penghilangan kontaminan, seperti air dan partikel padat.
- 2. Transesterifikasi :** Tahap ini merupakan reaksi kimia kunci dalam pembuatan biodiesel di mana minyak nabati atau lemak diubah menjadi ester biodiesel dan gliserol dengan mereaksikan minyak dengan alkohol (biasanya metanol) di bawah pengaruh katalis.
- 3. Pencucian :** Setelah reaksi transesterifikasi, campuran hasil reaksi perlu dipisahkan. Tahap pencucian dilakukan dengan mencampurkan biodiesel dengan air atau larutan penjernih untuk menghilangkan katalis, sisa alkohol, dan senyawa tidak diinginkan.
- 4. Pengeringan :** Setelah proses pencucian, biodiesel yang telah dicuci perlu dikeringkan untuk menghilangkan kelebihan air. Pengeringan dapat dilakukan dengan memanaskan biodiesel pada suhu tertentu atau menggunakan metode lain, seperti desikan.



Diagram Alir Proses Produksi Biodiesel Dari Minyak Nabati



Proses Pembuatan Minyak Nabati Menjadi Biodiesel

- Minyak nabati merupakan trigliserida melalui reaksi transesterifikasi dengan methanol akan menghasilkan, gliserin, metil stearate, metil oleate.
- Metil oleate atau biodiesel dan gliserin harus dipisahkan melalui suatu tangki-pengendap.
- Setelah gliserin dipisahkan larutan dicuci dengan air dan selanjutnya didistilasi sehingga menghasilkan biodiesel sesuai standard yang diinginkan.
- Masalah yang timbul pada proses transesterifikasi dengan metoda relatif mahal, disamping itu hasil samping gliserin harus diproses lagi agar dapat dimanfaatkan lagi untuk industri terkait lainnya.
- **Produk akhir** yaitu **biodiesel** : bahan bakar untuk mesin/motor menghasilkan **emisi NOx sedikit lebih tinggi, tetapi emisi CO yang lebih rendah** dibandingkan dengan emisi yang dihasilkan dalam pemanfaatan BBM.



Proses Produksi Biodiesel

- Instalasi biodiesel mensyaratkan ukuran partikel asam lemak bebas harus < 5 mikrometer.
- Bila kondisi ini tidak terpenuhi, diperlukan proses persiapan sebagai berikut:
 1. Filtrasi hingga 5 mikrometer
 2. Pencucian dengan air
 3. Dekantasi
 4. Pemanasan minyak
 5. Dekantasi kedua

Bila dalam minyak nabati kadar airnya cukup tinggi, maka setelah dekantasi kedua dilakukan pengeringan disamping itu perlu diperhatikan adalah minyak mudah larut dalam alkohol.



Reaktor Biodiesel

Karakteristik Biodiesel Untuk Bahan Bakar

- Biodiesel sebagai bahan bakar motor diesel dapat digunakan dalam keadaan murni atau dicampur dengan minyak diesel dengan perbandingan tertentu.
- Spesifikasi biodiesel yang dihasilkan tergantung pada **minyak nabati** yang digunakan sebagai bahan baku dan **kondisi operasi pabrik** serta **modifikasi dari peralatan yang digunakan**.
- Biodiesel sebagai bahan bakar motor diesel dapat dikatakan layak jika angka cetannya minimal 47, sedangkan minyak diesel angka cetan sekitar 50.
- Apabila angka biodiesel terlalu rendah dapat merusak motor.



Peralatan Umum dalam Proses Produksi Biodiesel

- 1. Reaktor atau tangki reaksi:** berfungsi untuk merangsang reaksi transesterifikasi antara minyak nabati atau lemak dengan alkohol dan katalis. Reaktor ini biasanya dilengkapi dengan sistem pengaduk untuk menyatukan bahan baku dengan alkohol dan katalis secara merata.
- 2. Pompa:** digunakan untuk mengalirkan minyak nabati atau lemak, alkohol, katalis, dan campuran biodiesel ke dalam reaktor atau tangki reaksi.
- 3. Penukar panas:** berguna untuk memanaskan campuran minyak nabati atau lemak dengan alkohol sebelum dimasukkan ke dalam reaktor. Selain itu, penukar panas juga digunakan untuk memanaskan campuran hasil reaksi sebelum tahap pencucian.
- 4. Separator sentrifugal:** memisahkan campuran hasil reaksi menjadi fraksi biodiesel dan gliserol. Prinsip gaya sentrifugal digunakan untuk memisahkan kedua fase tersebut.
- 5. Tangki pencucian:** berperan dalam mencuci biodiesel dengan air atau larutan penjernih lainnya guna menghilangkan katalis, sisa alkohol, dan senyawa lain yang tidak diinginkan.
- 6. Peralatan pengeringan:** diperlukan untuk menghilangkan kelebihan air dari biodiesel setelah tahap pencucian. Peralatan ini dapat berupa oven atau desikan.
- 7. Filter:** berfungsi untuk menyaring biodiesel dari partikel-partikel padat atau kotoran lain yang mungkin masih terdapat dalam produk akhir.
- 8. Peralatan pengukuran dan pengendalian proses:** melibatkan alat ukur suhu, tekanan, dan aliran, serta sistem otomatis untuk memonitor dan mengendalikan kondisi proses secara keseluruhan.

Peralatan Produksi Biodiesel



Proses Produksi Biodiesel



Hasil pengolahan biodiesel dari kiri ke kanan yaitu gliserol, biodiesel, dan minyak jelantah sebagai bahan baku Biodiesel

Biogas

Biogas merupakan penguraian dari limbah organik dengan bakteri melalui proses fermentasi anaerob yang menghasilkan gas metan (CH_4) yang dapat dikelola.

Sumber bahan baku atau limbah yang digunakan mempengaruhi kualitas dan kuantitas biogas yang dihasilkan



Keberadaan

Secara alami, biogas terbentuk pada limbah pembuangan air, tumpukan sampah, dasar danau atau rawa. Hewan mamalia dan manusia menghasilkan biogas dari proses pencernaannya, bakteri pada sistem pencernaan menghasilkan biogas untuk proses pencernaan selulosa pada hewan mamalia



Biogas sebagai Bioenergi

Kandungan energi biogas adalah 1 m³ biogas, yang setara dengan 0,6 liter sampai 0,8 liter minyak tanah (Indriani et al., 2019).

Karakteristik Biogas

Biogas tidak memiliki bau dan warna, warna api yang dihasilkan dari pembakaran adalah biru cerah seperti halnya gas LPG.

BIOGAS



Berat yang dimiliki biogas kira-kira 20% lebih ringan dibandingkan dengan udara



Suhu pembakaran pada biogas berkisar antara 650-750°C



Efisiensi pada pembakaran biogas sebesar 60% pada kompor biogas konvensional

Biogas Sebagai Bioenergi

- Gas metana memiliki nilai kalor yang sangat tinggi: 4800 kkal/m³ - 6700 kkal/m³ ,
- Gas metana murni memiliki energi 8900 kkal/m³ ,
- Biogas dapat digunakan untuk penerangan, memasak, menggerakkan mesin.
- Kesetaraan antara biogas dan sumber energi lainnya yaitu, untuk setiap 1 m³ biogas setara dengan 0,46 kg *liquefied petroleum gas* (LPG), diesel 0,62 liter, bensin 0,52 liter, minyak tanah 0,80 liter, dan kayu bakar 3,5 kg



Bahan Baku Biogas



Limbah / Ampas Tahu

- 50% dari air limbah tahu juga mengandung metana (CH_4)
- Limbah ampas tahu memiliki kandungan air sebesar 82,69%, lemak 0,62%; protein 2,42%, karbohidrat 13,71%, dan rasio C/N 12%
- Limbah air tahu juga memiliki komposisi gas metana 56,4%, karbon dioksida 42.7%,



Kotoran Sapi

- Kotoran sapi menjadi bahan baku utama pembuatan Biogas
- Kandungan gas metana (CH_4) pada kotoran sapi sebesar 65,7%
- Kotoran sapi mengandung nitrogen, fosfor dan kalium yang merupakan kandungan nutrisi utama untuk bahan pengisi biogas

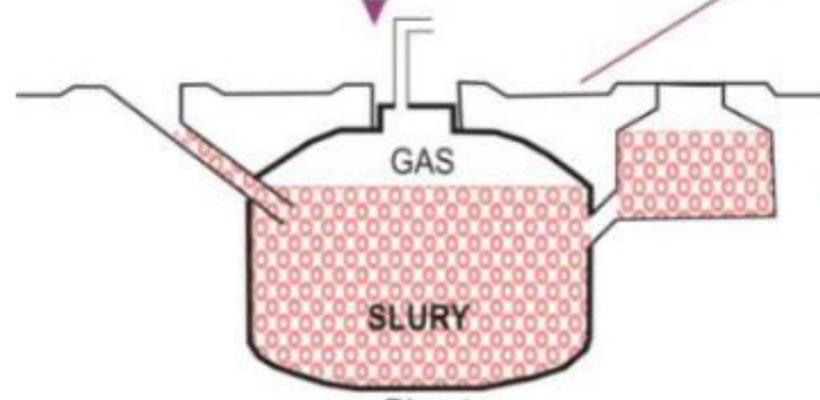
Instalasi Produksi Biogas dari Limbah Cair Tahu



Aktivitas Perusahaan Tahu



Bak Penampungan Limbah Cair Tahu



Digester



Kompor Api Biru



Lampu Penerangan



Kolam Pengolahan Air



Pembuangan Akhir (Sungai)

Produksi Biogas

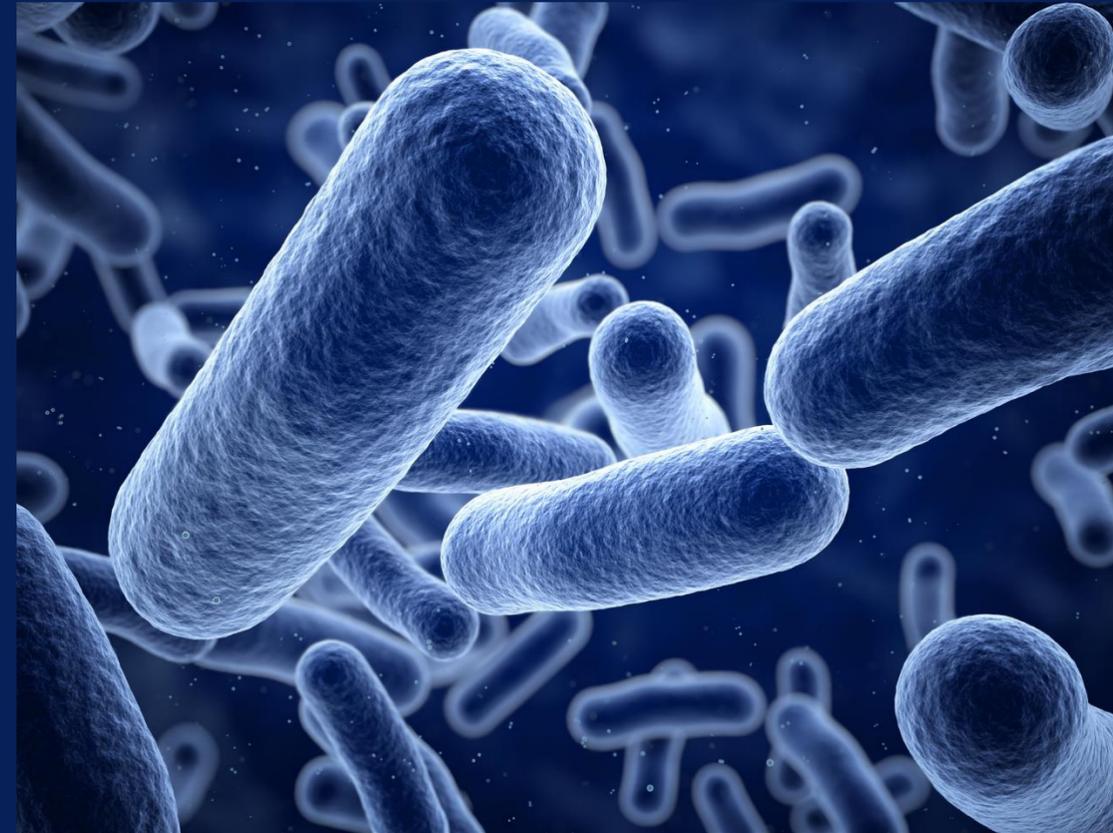
- Proses pembuatan biogas dari terjadi karena adanya dekomposisi bahan organik secara anaerob (tertutup dari udara bebas).
- Proses ini akan menghasilkan suatu gas yang sebagian besar mengandung metana dan karbondioksida (CO₂).
- Suhu yang baik untuk **proses fermentasi** adalah berkisar antara 25-55C==> mikroorganisme (bakteri metanogen) dapat bekerja secara optimal untuk merombak bahan-bahan organik
- Proses pembuatan biogas menghasilkan tekanan dan gas pada tabung reaktor.
- Pengendalian tekanan bertujuan untuk menjaga reaktor dapat bekerja secara efektif dan aman



Digester Biogas tempat terjadinya fermentasi

Bakteri Methanogen

- Merupakan bakteri yang terdapat pada bahan-bahan organik dan menghasilkan gas metana serta gas-gas lainnya dengan proses keseluruhan rantai secara anaerobik.
- Setiap organisme memiliki kondisi khusus dan peka terhadap kondisi dalam digester.
- Bakteri metanogen merupakan bakteri obligat anaerobik dan sangat sensitif pada perubahan lingkungan.
- **Ciri khas bakteri metanogen:** dapat menghasilkan gas metana (CH₄).



Bakteri Methanogen

- **Bakteri metanogen merupakan bakteri obligat anaerobik dan sangat sensitif pada perubahan lingkungan.**
- Bakteri metanogen termasuk dalam genus Archaeobacter yaitu kelompok bakteri yang memiliki struktur morfologi yang sangat heterogen, sifat biokimia yang umum, serta sifat biologis yaitu kondisi molekul yang berbeda dengan bakteri lain.
- Metanogen biasanya berbentuk coccoid (berbentuk bulat), [basil](#) (berbentuk batang), dan ada beberapa spesies yang berbentuk [spirillum](#) (spiral).
- **Ciri khas bakteri metanogen:** dapat menghasilkan gas metana (CH₄).
- Bakteri metanogen merupakan bakteri yang sangat berperan dalam pergerakan H₂ pada lingkungan yang anaerob.
- Bakteri metanogen terdapat pada berbagai macam habitat anaerobik termasuk sedimen, sludge dan digester kotoran hewan, buangan kotoran hewan dan manusia dalam jumlah besar, usus serangga, kayu basah pada pohon, dan rumen.
- Bakteri metanogen akan bersifat inaktif bila pada kondisi terdapat oksigen, meskipun tidak semua spesies mati secara cepat oleh adanya oksigen.



Bakteri Methanogen

- Ada lebih dari 50 [spesies](#) yang dapat dikategorikan dalam kelompok metanogen yang tidak membentuk kelompok [monofiletik](#), meskipun semua metanogen berada dalam group [arkea](#).
- Metanogen memiliki beberapa sifat khusus yang membedakannya beberapa [prokariota](#) lainnya, yaitu:
 - Anaerob
 - Biasanya ditumbuhkan pada garam mineral dengan kondisi atmosfer
 - Pada umumnya mesofilik, beberapa ekstremofilik (suhu sangat tinggi, sangat rendah, kondisi garam tinggi)
 - Beberapa jenis metanogen, disebut sebagai hydrogenotrophic, menggunakan [karbon dioksida](#) (CO₂) sebagai sumber [karbon](#) dan [hidrogen](#). Beberapa CO₂ direaksikan dengan hidrogen untuk menghasilkan metana yang dapat menghasilkan gradien [elektrokimia](#) melintasi [membran](#), digunakan untuk menghasilkan ATP (adenosine triphosphate) melalui proses [kemiosmosis](#)



Bakteri Methanogen

Ada 3 jenis 3 filotipe Archaea metanogen dalam limbah makanan yaitu:

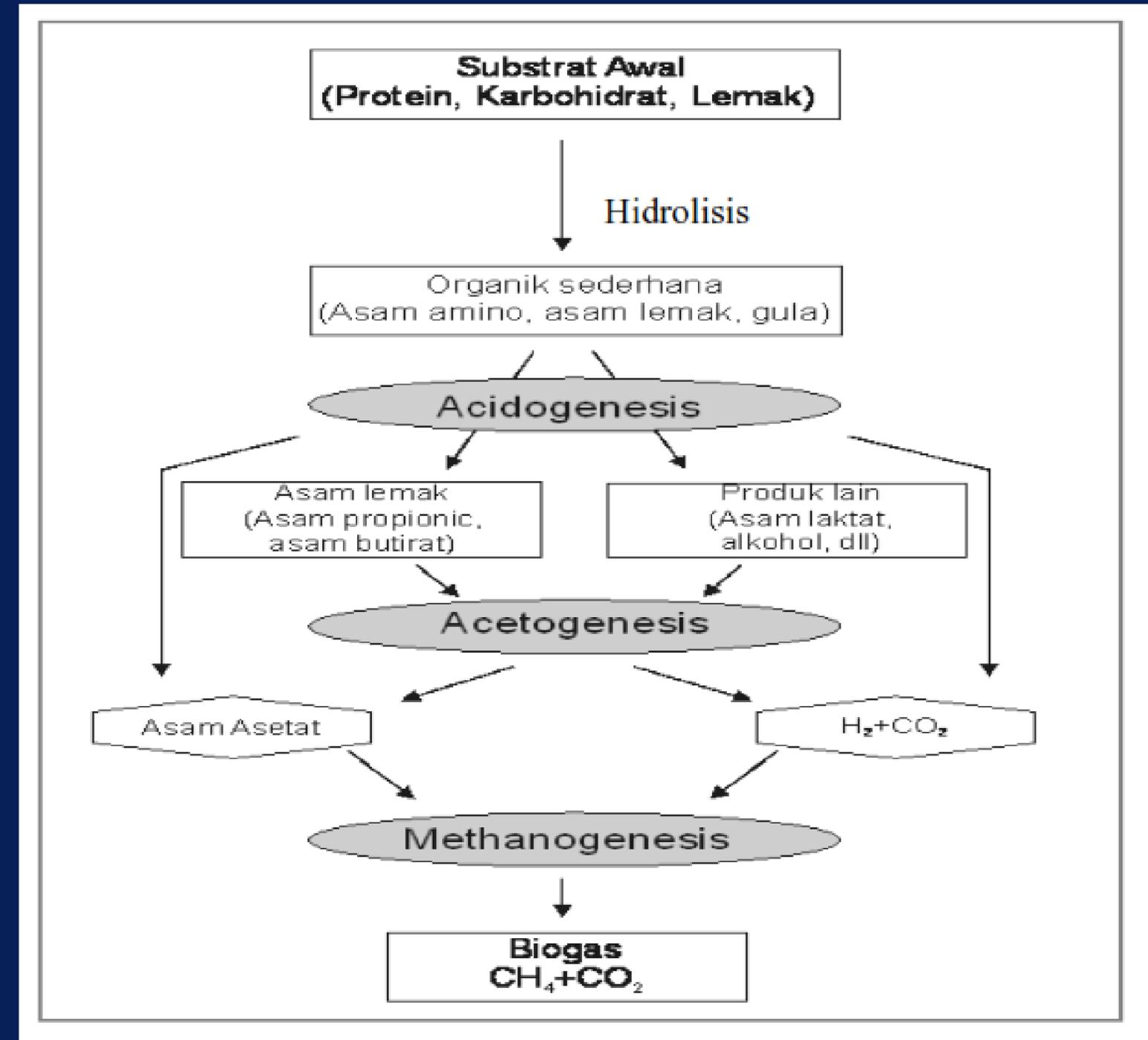
- Methanosphaerula palustris,
- Methanobrevibacter filiformis, dan
- uncultured Archaea dari Grup.



Proses Produksi Biogas

Proses pembuatan biogas terdiri dari 4 tahap yaitu :

- **Hidrolisis**: pada tahap ini molekul organik kompleks (karbohidrat, protein dan lemak) diuraikan menjadi bentuk yang lebih sederhana berupa gula sederhana, asam amino dan asam lemak.
- **Asidogenesis**: pada tahap ini terjadi proses penguraian yang menghasilkan amonia, karbon dioksida dan hidrogen sulfida.
- **Asetagenesis**: pada tahap ini terjadi penguraian produk asidogenesis yang menghasilkan hidrogen, karbon dioksida dan asetat.
- **Metanogenesis**: pada tahap ini terjadi penguraian dan sintesis produk tahap sebelumnya menghasilkan gas metana (CH_4). Hasil lain dari proses ini adalah karbon dioksida, air, dan sejumlah kecil senyawa gas lainnya



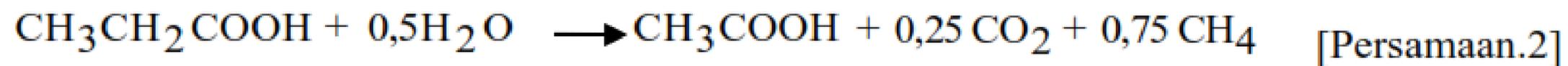
Reaksi Fermentasi Anaerob dalam Produksi Biogas

Reaksi fermentasi secara anaerob dari bahan organik dapat dijelaskan sebagai berikut [9] :

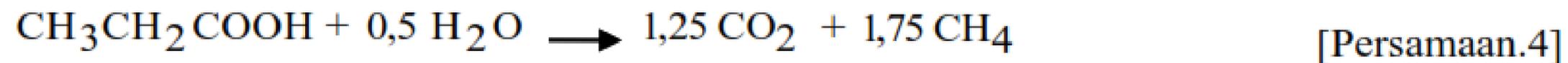
Asam Asetat :



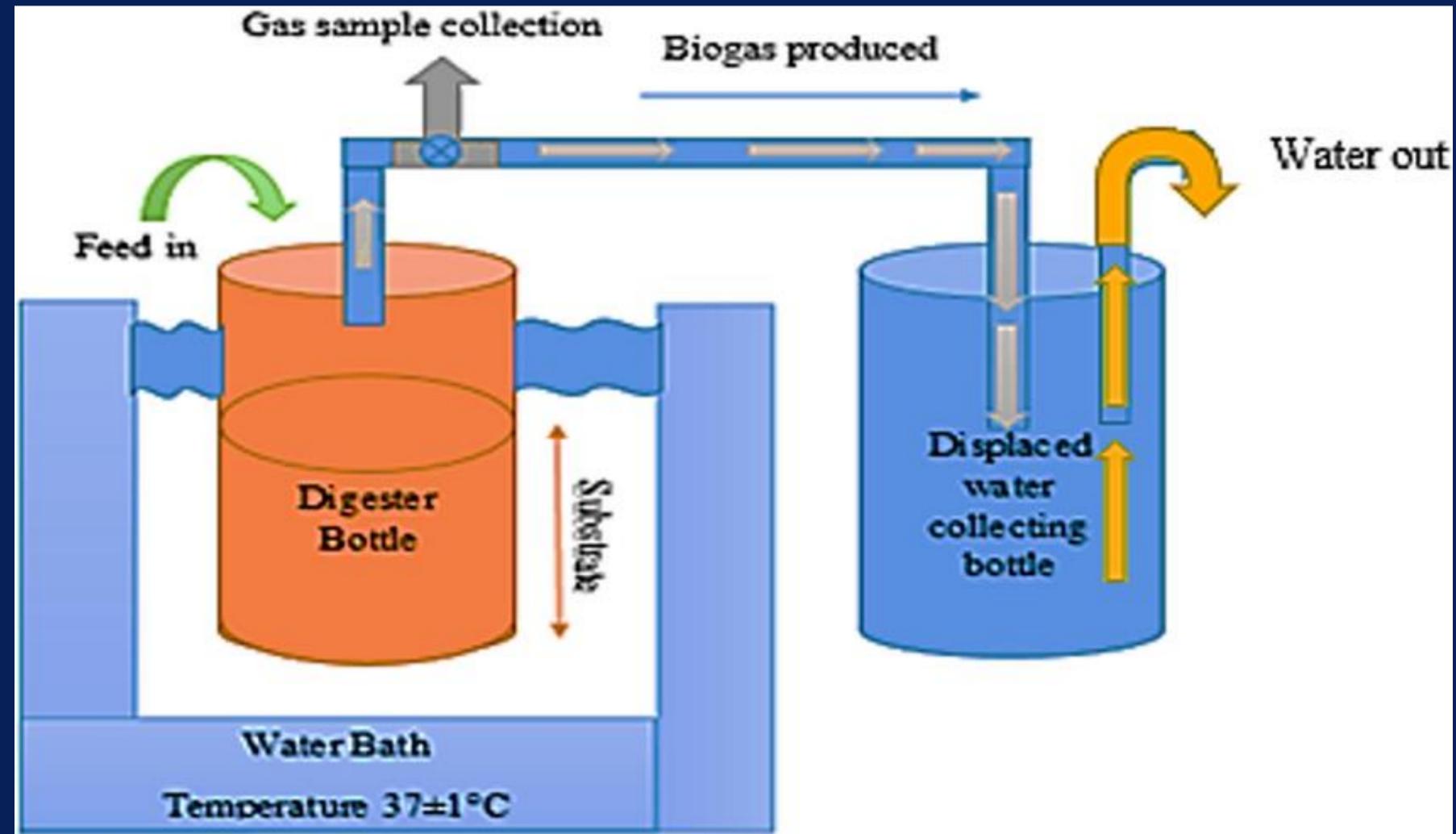
Asam Propionat :



Reaksi keseluruhan:

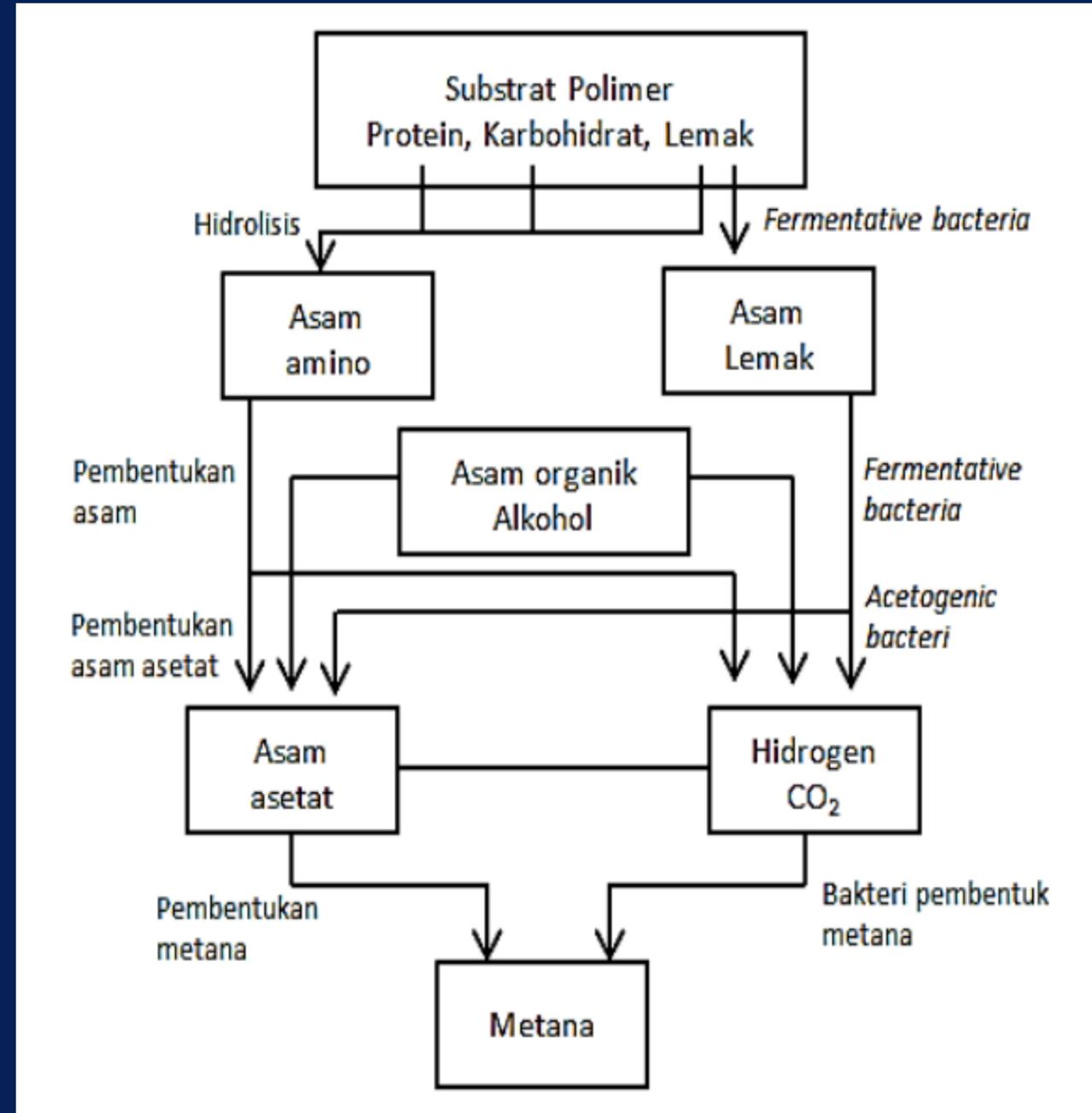


Proses Produksi Biogas



Schematic diagram of the biogas digester set-up

Proses Produksi Biogas



Proses Produksi Gas Metana

Faktor yang Mempengaruhi Volume Biogas yang Dihasilkan



Waktu Fermentasi

Waktu fermentasi terbaik yaitu 36 hari dengan inokulum kotoran sapi. Semakin lama waktu maka jumlah bakteri metanogen yang berperan pada proses fermentasi akan semakin banyak, sehingga volume biogas yang dihasilkan akan semakin besar pula.



Konsentrasi Inokulum

Konsentrasi inokulum berbanding lurus dengan volume biogas yang diproduksi. Semakin tinggi konsentrasi inokulum dan seiring bertambahnya waktu maka bakteri metanogen yang akan berperan dalam proses fermentasi juga akan semakin besar, sehingga volume biogas yang dihasilkan juga akan semakin besar.



Derajat Keasaman (pH)

Mikroorganisme yang berperan pada proses fermentasi dalam pembuatan biogas akan tumbuh dan berkembang dengan baik pada kondisi pH netral (pH 7)



Lanjutan.....

Faktor yang Mempengaruhi Volume Biogas yang Dihasilkan



Jenis Inokulum

Inokulum diperlukan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik menjadi biogas, bisa digunakan lumpur aktif organik atau cairan isi rumen.



Pengadukan

pengadukan pada proses degradasi berfungsi untuk mencegah terjadinya benda-benda mengapung pada permukaan cairan dan juga berfungsi untuk mencampurkan mikroorganismenya dengan substrat. Di sisi lain, pengadukan juga mampu memberikan mempercepat homogenitas dari temperature dalam digester.



Waktu Fermentasi Biogas

Klaster	Waktu Fermentasi	Kondisi Operasi	Volume (L)	Referensi
1 Minggu	10	Inokulum = kotoran sapi	0,6	Nisrina dan Andarani, 2018
		Kotoran sapi:LCT = 14% : 86%		
		pH = 6.56-6.62		
1 Minggu	12	Inokulum = Mikroorganisme granule	13	Wagiman, 2007
		pH = 4 - 7,5		
		Volume reaktor = 85 L (85000 ml)		
2 Minggu	20	Inokulum = bakteri indigeneous	5	Prayitno <i>et al</i> , 2020
		Bakteri indigeneous : LCT = 30% : 70%		
		Reaktor = digester anerob 50L		
	20	Inokulum = Rumen Sapi	0,1255	Syaichurrozi dan Rusi, 2015
		LV:LCT = 20% : 80%		
		pH = 7 - 5,1		
	20	Volume digester = 250 ml	0,1255	Syaichurrozi dan Rusi, 2015
		Inokulum = Kotoran Domba		
		pH = 6,4 - 7,2		
	2 Minggu	21	Inokulum = Kotoran Kuda + Ragi Tape	0,83
LCT:Kotoran Kuda: Ragi Tape = 50:48:2 %				
pH = 6-7				
Volume digester = 19 L (19000 ml)				

3 Minggu	25	Inokulum = Kotoran Sapi waktu pengambilan (1, 7, dan 14 hari)	1,057	Zakiyyah, <i>et al</i> , 2019
		Kotoran Sapi:LCT = 19% : 81%		
		Volume digester = 20 L (2000 ml)		
3 Minggu	28	Inokulum = kotoran sapi (waktu pengambilan 7 hari)	0,43	Chan, <i>et al</i> , 2016
		Kotoran sapi : LCT = 50% : 50%		
		pH = 6,1 - 6,7		
		Reaktor = digester anaerob 20L		
4 Minggu	36	Suhu = 32°C-30°C	26,7	Gantina dan Pratama, 2011
		Inokulum = Kotoran Sapi		
		LCT:LPT:Kotoran Sapi = 40%:30%:30%		
		Volume digester = 36 L (36000 ml)		
5 Minggu	60	Suhu = 35°C- 40°C	0,13	Utami, 2011
		inokulum = kotoran sapi		
		konsentrasi inokulum = 2.5%		
		kotoran sapi:LCT = 2.5%: 97.5%		
5 Minggu	60	suhu = 30°C-45°C	0,13	Utami, 2011

Konsentrasi Inokulum Biogas

Konsentrasi Inokulum	kondisi operasi	Volume (L)	Referensi
2.50%	Inokulum = kotoran sapi	0.13	Utami, 2011
	Waktu Fermentasi = 60 hari		
	Kotoran sapi:LCT = 2.5%: 97.5%		
	Suhu = 30°C-45°C		
14%	Inokulum = kotoran sapi	0.6	Nisrina dan Andarani, 2018
	Waktu Fermentasi = 10 hari		
	pH = 6,56-6,62		
30%	Inokulum = bakteri indigeneous	5	Prayitno <i>et al</i> , 2020
	Waktu Fermentasi = 20 hari		
	Reaktor = digester anerob 50L		
50%	Inokulum = kotoran sapi	0.43	Chan, <i>et al</i> , 2016
	Waktu Fermentasi = 28 hari		
	pH = 6,1 - 6,7		
	Reaktor = digester anaerob 20L		
	Suhu = 32°C-30°C		

Jenis Inokulum Biogas

Kotoran Sapi	Waktu Fermentasi = 25 hari	1.057	Zakiyyah, <i>et al</i> , 2019
	Kotoran Sapi:LCT = 19% : 81%		
	Volume digester = 20 L (2000 ml)		
Kotoran Sapi	Waktu Fermentasi = 28 hari	0,43	Chan, <i>et al</i> , 2016
	kotoran sapi : LCT = 50% : 50%		
	pH = 6,1 - 6,7		
	reaktor = digester anaerob 20L		
Kotoran Sapi	Waktu Fermentasi = 36 hari	26.7	Gantina dan Pratama, 2011
	LCT:LPT:Kotoran Sapi = 40%:30%:30%		
	Volume digester = 36 L (36000 ml)		
	Suhu = 35°C- 40°C		
Kotoran Sapi	Waktu Fermentasi = 60 hari	0,6	Nisrina dan Andarani, 2018
	konsentrasi inokulum = 2.5%		
	kotoran sapi:LCT = 2.5%: 97.5%		

Jenis Inokulum	Kondisi Operasi	Volume (L)	Referensi
Kotoran Sapi	Waktu Fermentasi = 10 hari	0,6	Nisrina dan Andarani, 2018
	kotoran sapi:LCT = 14% : 86%		
	pH = 6,56-6,62		
Mikroorganisme Granule	Waktu Fermentasi = 12 hari	13	Wagiman, 2007
	pH = 4 - 7,5		
	Volume reaktor = 85 L (85000 ml)		
Bakteri Indigeneous	Waktu Fermentasi = 20 hari	5	Prayitno <i>et al</i> , 2020
	Bakteri indigeneous : LCT = 30% : 70%		
	reaktor = digester anerob 50L		
Rumen Sapi	Waktu Fermentasi = 20 hari	0,1255	Syaichurrozi dan Rusi, 2015
	LV:LCT = 20%: 80%		
	pH = 7 - 5,1		
	Volume digester = 250 ml		
Kotoran Domba	Waktu Fermentasi = 21 hari	14.183	Rahmat, 2014
	pH = 6,4 - 7,2		
Kotoran Kuda + Ragi Tape	Waktu Fermentasi = 21 hari	0,83	Pratama dan Abidin, 2020
	LCT:Kotoran Kuda: Ragi Tape = 50:48:2 %		
	pH = 6-7		
	Volume digester = 19 L (19000 ml)		

Jenis Inokulum Biogas

Kotoran Sapi	Waktu Fermentasi = 25 hari	1.057	Zakiyyah, <i>et al</i> , 2019
	Kotoran Sapi:LCT = 19% : 81%		
	Volume digester = 20 L (2000 ml)		
Kotoran Sapi	Waktu Fermentasi = 28 hari	0,43	Chan, <i>et al</i> , 2016
	kotoran sapi : LCT = 50% : 50%		
	pH = 6,1 - 6,7		
	reaktor = digester anaerob 20L		
Kotoran Sapi	Waktu Fermentasi = 36 hari	26.7	Gantina dan Pratama, 2011
	LCT:LPT:Kotoran Sapi = 40%:30%:30%		
	Volume digester = 36 L (36000 ml)		
	Suhu = 35°C- 40°C		
Kotoran Sapi	Waktu Fermentasi = 60 hari	0,6	Nisrina dan Andarani, 2018
	konsentrasi inokulum = 2.5%		
	kotoran sapi:LCT = 2.5%: 97.5%		

Jenis Inokulum	Kondisi Operasi	Volume (L)	Referensi
Kotoran Sapi	Waktu Fermentasi = 10 hari	0,6	Nisrina dan Andarani, 2018
	kotoran sapi:LCT = 14% : 86%		
	pH = 6,56-6,62		
Mikroorganisme Granule	Waktu Fermentasi = 12 hari	13	Wagiman, 2007
	pH = 4 - 7,5		
	Volume reaktor = 85 L (85000 ml)		
Bakteri Indigeneous	Waktu Fermentasi = 20 hari	5	Prayitno <i>et al</i> , 2020
	Bakteri indigeneous : LCT = 30% : 70%		
	reaktor = digester anerob 50L		
Rumen Sapi	Waktu Fermentasi = 20 hari	0,1255	Syaichurrozi dan Rusi, 2015
	LV:LCT = 20%: 80%		
	pH = 7 - 5,1		
	Volume digester = 250 ml		
Kotoran Domba	Waktu Fermentasi = 21 hari	14.183	Rahmat, 2014
	pH = 6,4 - 7,2		
Kotoran Kuda + Ragi Tape	Waktu Fermentasi = 21 hari	0,83	Pratama dan Abidin, 2020
	LCT:Kotoran Kuda: Ragi Tape = 50:48:2 %		
	pH = 6-7		
	Volume digester = 19 L (19000 ml)		

Terimakasih
Maturnuwun
Thank You!

