



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Bioethanol

Bioethanol adalah etanol yang dihasilkan dari fermentasi glukosa (gula) menggunakan bantuan ragi/*yeast* terutama jenis *Saccharomyces cerevisiae*. Bioethanol merupakan etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) yang dapat dibuat dari substrat yang mengandung karbohidrat (turunan gula, pati, dan selulosa). Salah satu bahan baku yang sering digunakan untuk pembuatan bioethanol adalah bahan baku yang mengandung pati. Bioethanol dapat dibuat dari sumber daya hayati yang melimpah di Indonesia. Bioethanol dibuat dari bahan-bahan bergula atau berpati seperti singkong atau ubi kayu, tebu, nira, sorgum, nira nipah, ubi jalar, dan lain-lain (Lovisia, 2022). Produksi bioethanol dari tanaman yang mengandung selulosa, dilakukan melalui proses konversi lignoselulosa menjadi selulosa dengan beberapa metode diantaranya dengan hidrolisis fisik, kimia, dan biologi. Bioethanol merupakan bahan bakar alternatif yang memiliki keunggulan mampu menurunkan emisi CO<sub>2</sub> hingga 18 %. Bioethanol memiliki karakteristik mudah menguap, mudah terbakar, larut dalam air, tidak karsinogenik, dan tidak berdampak negatif pada lingkungan. Biaya produksi bioethanol tergolong murah karena sumber bahan baku berasal dari limbah pertanian yang memiliki nilai ekonomis yang rendah (Nugroho, 2018).

##### II.1.1 Manfaat Bioethanol

Ketersediaan energi (*energy supply*) merupakan suatu hal yang selalu menjadi perhatian semua negara di dunia dikarenakan tingkat kesejahteraan manusia dalam kehidupan modern saat ini sangat berhubungan dengan jumlah dan mutu energi yang dimanfaatkan. Energi fosil yang terdiri atas batubara, minyak bumi, dan gas alam masih menjadi sumber energi yang utama sebagai penggerak roda perekonomian di Indonesia. Dilain pihak keberlangsungan ketersediaan energi fosil dikhawatirkan akan terancam seiring dengan berkurangnya sumber daya alam tak terbarukan. Dalam usaha mengurangi



ketergantungan terhadap energi fosil khususnya bahan bakar minyak yang akan habis karena depositnya terbatas maka sangat diperlukan upaya peningkatan pemanfaatan energi lain terutama pada sektor transportasi, di antaranya dengan penggunaan biofuel, khususnya bioetanol yang merupakan sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui juga ramah lingkungan. Penggunaan bioetanol mengurangi emisi gas CO (ramah lingkungan) secara signifikan, Bioetanol bisa dipakai langsung sebagai BBN atau dicampurkan ke dalam premium sebagai aditif dengan perbandingan tertentu (Gasohol atau Gasolin alkohol), jika dicampurkan ke bensin maka bioetanol bisa meningkatkan angka oktan. Selain itu bioetanol mempunyai manfaat untuk dikonsumsi manusia sebagai minuman beralkohol (Wiratmaja, 2020).

### **II.1.2 Pembuatan Bioethanol**

Pembuatan bioetanol dapat dilakukan dengan bahan yang mengandung lignoselulosa. Bahan lignoselulosa merupakan biomassa yang berasal dari tanaman dengan komponen utama lignin, selulosa dan hemiselulosa. Pembuatan bahan – bahan lignoselulosa hingga menjadi etanol melalui empat proses utama.

a. Delignifikasi

Delignifikasi merupakan suatu proses pendahuluan penghilangan lignin pada material berlignoselulosa.

b. Hidrolisa

Hidrolisis merupakan reaksi pengikatan gugus hidroksil/OH oleh suatu senyawa. Gugus OH dapat diperoleh dari senyawa air.

c. Fermentasi

Proses perubahan kimiawi, dari senyawa kompleks menjadi lebih sederhana dengan bantuan enzim yang dihasilkan oleh mikrobia.

d. Pemisahan serta pemurnian produk etanol

Pemurnian etanol dari impuritis agar diperoleh konsentrasi yang tinggi  
(Herawati, 2021)



### II.1.3

#### Faktor yang Mempengaruhi Pembuatan Bioethanol

Terdapat beberapa faktor penting yang mempengaruhi proses fermentasi gula menjadi alkohol, yaitu :

##### 1. Jenis dan Jumlah Mikroba

Jenis mikroba berpengaruh terhadap lama fermentasi dan kadar alkohol yang akan dihasilkan. Dalam fermentasi alkohol umumnya digunakan khamir karena efektif mengkonversi gula menjadi alkohol secara optimal. Mikroorganisme yang dapat mengubah glukosa menjadi bioethanol adalah jenis khamir. Misalnya *S. cerevisiae* akan menggunakan glukosa sebagai sumber karbon dalam proses produksi bioethanol. Semakin tinggi penambahan *S. cerevisiae* semakin meningkat rendemen alkohol yang dihasilkan dari pati ubi jalar. Hasil penelitian Wardani dan Pertiwi (2013) menunjukkan produksi etanol meningkat dengan meningkatnya konsentrasi inokulum yang ditambahkan pada medium tetes yang mengandung sumber gula 20% dan 25%. Penambahan inokulum dengan konsentrasi yang rendah mengakibatkan laju fermentasi menjadi lambat, tetapi dapat menghasilkan etanol yang lebih tinggi karena setelah sel memperbanyak diri akan mengkonversi gula menjadi etanol secara perlahan. Maka selama fermentasi tidak akan terjadi akumulasi etanol yang bisa menjadi racun bagi sel dan masih tetap bisa menghasilkan etanol hingga akhir fermentasi. Dalam pembuatan etanol, inokulasi *yeast* yang terlalu tinggi menyebabkan proses melemah lebih cepat dan menurunkan viabilitas sel setelah fase pertumbuhan. Kondisi pertumbuhan dan metabolisme pada populasi sel yang tinggi tidak diharapkan, karena mengganggu akses nutrisi, keterbatasan ruang, dan interaksi antar sel.

##### 2. Lama Fermentasi

Lama fermentasi juga merupakan faktor penting dalam produksi bioethanol. Hal ini karena *S. cerevisiae* membutuhkan waktu yang cukup untuk dapat menghidrolisis gula menjadi etanol. Lama fermentasi berpengaruh terhadap kadar alkohol/etanol yang akan dihasilkan. Semakin lama waktu fermentasi, semakin besar kemampuan *S. cerevisiae* untuk memecah gula/glukosa menjadi alkohol. Wardani dan Pertiwi (2013) menyatakan





semakin lama waktu fermentasi, semakin berkurang konsentrasi gula dalam tetes tebu dan semakin bertambah konsentrasi sel. Terjadinya penurunan kadar gula pada bahan selama fermentasi dari hari ke hari karena gula diubah menjadi etanol oleh *S. Cerevisae*.

### 3. Media Tumbuh Mikroba.

*S. cerevisiae* memerlukan media dan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhannya. Unsur-unsur utama yang dibutuhkan adalah nitrogen, fosfor, karbon, hidrogen, zat besi dan magnesium. *S. cerevisiae* menggunakan garam amonium, asam amino, dan sejumlah peptida sebagai sumber nitrogen. Untuk alasan ekonomis, biasanya digunakan urea sebagai sumber nitrogen. Hasil penelitian Maghfiroh dan Agustini (2013) memperoleh biohidrogen yang dihasilkan dari penambahan urea 1-3 gram mengalami peningkatan, namun menurun setelah penambahan 4 dan 5 % urea. Penelitian Rasyid *et al.* (2014) juga menunjukkan penambahan zat aditif urea dapat meningkatkan rendemen biodiesel melalui proses transesterifikasi.

## II.2 Biogas

Biogas adalah gas yang mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi tanpa oksigen yang ada dalam udara). Biogas merupakan bahan bakar gas dan bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan secara anaerobik digestion dengan bantuan bakteri metanogenesis. Bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas yaitu bahan *biodegradable* atau bahan yang dapat terurai secara hayati. Proses pembuatan biogas dilakukan secara fermentasi yaitu proses terbentuknya gas metana dalam kondisi anaerob dengan bantuan bakteri anaerob di dalam suatu digester (Pertiwiningrum, 2015).

Biogas terbentuk ketika mikroorganisme, terutama bakteri, menguraikan bahan organik didalamnya tidak adanya oksigen. Biogas terdiri dari 50-75% metana ( $\text{CH}_4$ ), 25–45% karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan sejumlah kecil gas lainnya.





Tabel II. 1. Komposisi Biogas

Elemen	Formula	Konsentrasi (Vol.%)
Methane	CH <sub>4</sub>	50 – 75
Karbon dioksida	CO <sub>2</sub>	25 – 45
Uap air	H <sub>2</sub> O	2 – 7
Oksigen	O <sub>2</sub>	<2
Nitrogen	N <sub>2</sub>	<2
Hydrogen sulfida	H <sub>2</sub> S	<2
Ammonia	NH <sub>3</sub>	<1
Hydrogen	H <sub>2</sub>	<1

Biogas sekitar 20% lebih ringan dari udara dan memiliki suhu penyalaan antara 650°C dan 750°C. Biogas adalah gas yang tidak berbau dan tidak berwarna yang terbakar dengan nyala api biru jernih mirip dengan cairan gas minyak bumi (LPG). Biogas terbakar dengan efisiensi 60% pada kompor biogas konvensional; itu memiliki nilai kalori 20 MJ/Nm<sup>3</sup>. Proses produksi biogas memanfaatkan kemampuan alami mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik limbah. Proses dekomposisi menghasilkan biogas dan residu kaya nutrisi yang layak digunakan sebagai pupuk (Rahayu, 2015).

### II.2.1 Manfaat Biogas

Pemanfaatan biogas di Indonesia sebagai energi alternatif sangat memungkinkan untuk diterapkan di masyarakat terlebih seiring dengan makin mahalnya harga bahan bakar minyak dan kadang-kadang langka keberadaannya potensi biomassa seperti kayu dari kegiatan industri pengolahan hutan, pertanian dan perkebunan lebih sulit penggunaannya sebagai bahan dasar biogas dibandingkan limbah kotoran ternak seperti kuda, sapi, kerbau, dan domba. Karena lebih lama waktu yang dibutuhkan untuk proses hidrolisis. Di Indonesia, pemanfaatan biogas masih terbatas pada bahan bakar kompor untuk memasak. Pemanfaatan biogas untuk kebutuhan rumah tangga ini, beberapa penduduk di Indonesia sudah mampu membuat reaktor biogas sendiri dengan skala kecil. Reaktor biogas untuk skala kecil umumnya



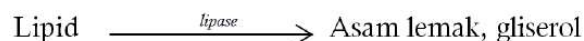
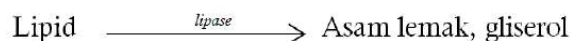
dibuat dari plastik maupun dari drum. Ketertarikan akan sumber energi biogas akhir-akhir ini meningkat. Hal ini didasarkan pada fakta bahwa cadangan sumber energi fosil semakin berkurang. Salah satu buktinya adalah adanya kebijakan pemerintah dalam konversi minyak tanah ke Gas (LPG) (Mustikawati *et al.*, 2019)

## II.2.2 Pembuatan Biogas

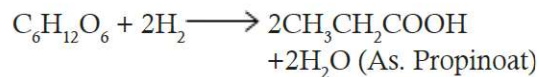
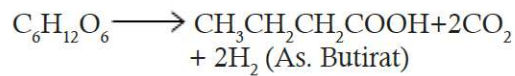
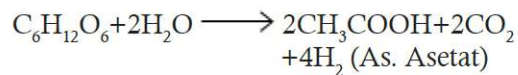
Serangkaian proses yang terjadi pada pembentukan biogas meliputi hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Berikut adalah tahap-tahap pembentukan biogas dalam anaerobik digestion :

### 1. Hidrolisis

Secara teoritis, langkah pertama dalam proses pembentukan biogas adalah hidrolisis. Pada tahap hidrolisis ini, kompleks bahan organik (polimer) didekomposisi menjadi unit yang lebih kecil (mono dan oligo). Selama proses tersebut, polimer seperti karbohidrat, lipid, asam nukleat dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, purin dan pirimidin. Mikroorganisme hidrolitik akan mensekresi enzim hidrolitik, mengubah polimer menjadi senyawa sederhana berdasarkan persamaan seperti yang ditunjukkan di bawah ini :



Proses hidrolisis membutuhkan mediasi *exo-enzim* yang diekskresi oleh bakteri fermentatif. Produk yang dihasilkan dari proses hidrolisis lebih lanjut diuraikan oleh mikroorganisme yang terlibat dan digunakan untuk proses metabolisme mereka sendiri. Walaupun demikian proses penguraian anaerobik sangat lambat dan menjadi terbatas dalam penguraian limbah selulolitik yang mengandung lignin. Pada proses ini, bakteri pengurai asam menguraikan senyawa glukosa sesuai dengan reaksi berikut :



## 2. Asidogenesis

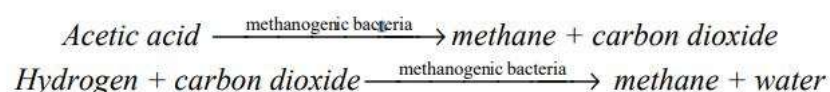
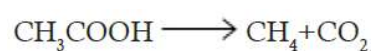
Selama proses asidogenesis, produk hidrolisis dikonversi oleh bakteri asidogenik menjadi substrat metanogen. Gula sederhana, asam amino, dan asam lemak terdegradasi menjadi asetat, karbondioksida dan hidrogen (70%) serta menjadi *Volatile Fatty Acid* (VFA) dan alkohol (30%).

## 3. Asetogenesis

Selama proses asetogenesis, produk dari asidogenesis yang tidak dapat diubah secara langsung menjadi metana oleh bakteri metanogen akan diubah menjadi substrat metanogen. VFA dan alkohol dioksidasi menjadi substrat metanogen seperti asetat, hidrogen dan karbondioksida. Produk hidrogen meningkatkan tekanan parsial hidrogen, hal ini dianggap sebagai produk limbah dari proses asetogenesis dan menghambat metabolisme bakteri asetogenik. Tahap selanjutnya adalah metanogenesis, selama proses metanogenesis hidrogen akan diubah menjadi metana. Asetogenesis dan metanogenesis biasanya sejajar, sebagai simbiosis dari dua kelompok organisme.

## 4. Metanogenesis

Produksi metana dan karbondioksida dari produk antara dilakukan oleh bakteri metanogen, 70% dari metana yang terbentuk berasal dari asetat, sedangkan 30% sisanya dihasilkan dari konversi hidrogen (H) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>), menurut persamaan berikut :





Metanogenesis merupakan langkah penting dalam seluruh proses pencernaan anaerobik, karena metanogenesis merupakan reaksi biokimia paling lambat dalam proses. Proses metanogenesis sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi. Beberapa contoh yang mempengaruhi proses metanogenesis adalah komposisi bahan baku, perbandingan makanan, temperatur, dan nilai pH. *Overload* digester, perubahan temperatur, dan masuknya oksigen dalam jumlah besar dapat mengakibatkan penghentian produksi metana.

### II.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Pembuatan Biogas

Secara keseluruhan, faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja stabilitas dan efisiensi digestasi anaerobik, yaitu:

#### 1. Temperatur

Temperatur adalah salah satu parameter penting yang sering terabaikan dari pandangan peneliti. Kegagalan untuk mengontrol temperatur reaksi dengan benar dapat menyebabkan penurunan efisiensi proses dan secara tidak langsung mempengaruhi laju reaksi, kelarutan logam berat dan karbon dioksida serta *buffering*. Secara teoritis, laju reaksi akan meningkat dengan meningkatnya temperatur sekitar. Dengan demikian, produksi biogas juga akan meningkat. Ada tiga kisaran temperatur dalam digestasi anaerob yaitu: Psikofilik:  $< 25^{\circ}\text{C}$ , Mesofilik:  $25\text{-}40^{\circ}\text{C}$ , dan Termofilik:  $>45^{\circ}\text{C}$ . Kebanyakan digester konvensional menggunakan temperatur mesofilik sekitar  $35^{\circ}\text{C}$ . Dalam kisaran mesofilik, aktivitas dan tingkat pertumbuhan bakteri berkurang 50% untuk setiap penurunan  $10^{\circ}\text{C}$ . Turunnya produksi biogas dimulai, ketika temperatur menurun hingga  $20^{\circ}\text{C}$  dan produksi bahkan berhenti pada  $10^{\circ}\text{C}$ . Namun, temperatur termofilik yaitu berkisar antara  $55^{\circ}\text{C}$  hingga  $60^{\circ}\text{C}$  patut dipertimbangkan karena akan menghasilkan lebih banyak biogas dalam waktu yang lebih singkat. Dalam hal laju reaksi, temperatur termofilik menawarkan laju reaksi yang lebih cepat dalam waktu yang lebih singkat dan karenanya, hasil gas yang lebih tinggi.







## 2. Lama Proses

Waktu retensi hidraulik adalah waktu rata-rata agar senyawa yang dapat difermentasi tetap berada dalam digester dalam kontak dengan biomassa dan terurai menjadi produk metabolisme. Secara teoritis, waktu retensi yang lama akan menyebabkan efisiensi proses yang rendah. Dalam kondisi anaerob, dekomposisi zat organik lambat dan ini akan membutuhkan waktu lama untuk selesai. Jenis mikroba dan kisaran temperaturnya adalah salah satu alasan yang akan mempengaruhi waktu retensi. Sistem temperatur termofilik dalam digestasi anaerob akan memiliki waktu retensi yang lebih pendek dibandingkan dengan sistem temperatur mesofilik. Pada temperatur tinggi, laju kinetika partikel meningkat begitu juga laju reaksi. Dengan demikian, proses konversi berlangsung lebih cepat dan mengurangi waktu retensi. Pada saat yang sama, waktu retensi yang lebih pendek menyebabkan koloni mikroba aktif untuk dicuci sementara waktu retensi yang lebih lama berarti volume digester yang lebih besar dan meningkatkan biaya operasional.

## 3. Derajat Keasaman (pH)

pH merupakan parameter penting dalam produksi biogas. Untuk fase hidrolitik yang optimal dan fase produksi metana, pH ditetapkan masing-masing 5 dan 6,5-8, untuk asidogenesis adalah 4,0-8,5 dengan nilai optimal sekitar 6, dan untuk asetogenesis adalah sekitar 7. Kisaran pH optimal untuk metanogen adalah 5,5-8,5. Pertumbuhan metanogenik menurun pada pH di bawah 6,6. pH harus dijaga sekitar netral karena metanogenesis adalah proses yang paling signifikan, dan proses lain dapat berfungsi di sekitar kondisi netral. pH dalam kisaran 6,6-8,0 adalah optimal. Nilai pH mengalami perubahan dengan perubahan temperatur di media reaksi. Seiring naiknya temperatur, kelarutan CO<sub>2</sub> akan berkurang. Ini dapat dinyatakan sebagai alasan untuk pH yang lebih tinggi pada digester termofilik, membandingkan digester mesofilik. Dalam digester mesofilik, asam karbonat terbentuk dengan peningkatan kelarutan CO<sub>2</sub>, menyebabkan peningkatan keasaman. Sementara digestasi berlangsung, amonia yang dihasilkan dari pengisian fluks atau protein cenderung meningkatkan nilai pH. Namun, dengan



pembentukan *volatile fatty acid* (VFA) dalam media reaksi, pH diturunkan. Media reaksi harus memiliki sistem penyangga yang memadai untuk menetralkan formasi VFA. Secara umum, pengelolaan pH dicapai dengan sistem buffer bikarbonat. Variasi pH ditangani oleh sistem penyangga, sesuai dengan akumulasi basa/asam. Penggunaan kapasitas penyangga yang terlalu banyak akan menyebabkan variasi pH yang tinggi, mengakibatkan penghentian sebagian atau seluruh proses.

#### 4. Penghambat Nitrogen dan Rasio Karbon Nitrogen

Selama digestasi anaerob, rasio C:N dalam bahan organik memainkan peran penting. Untuk mencapai stabilitas proses yang lebih baik selama proses digestasi, nilai rasio C:N melalui proses harus ditingkatkan. Untuk permulaan proses anaerob yang benar, beberapa penulis telah menetapkan nilai optimal sekitar 300:5:1 untuk C:N:P. Mengenai rasio C:N:P, keseimbangan optimal adalah antara 400:5:1 dan 100:28:6. Karena proporsi tidak ditemukan untuk pengolahan semua jenis limbah, salah satu alternatifnya adalah mencampurkan limbah yang berbeda untuk memastikan bahwa substrat yang diumpankan ke digester telah memiliki rasio yang memadai. Meskipun pengaruh nutrisi pada populasi mikroba mungkin berbeda tergantung pada ketersediaannya sebagai fraksi yang larut (bioavailabilitas) atau padat, penting untuk mengkarakterisasi dengan benar perbedaan substrat pada saat itu mulai dari proses untuk memilih proporsi nutrisi yang paling cocok.

#### 5. Pengadukan

Untuk mendistribusikan muatan organik yang memasuki sistem secara seragam dengan bakteri, perlu dilakukan proses pengadukan untuk memastikan distribusi padatan dan untuk memfasilitasi pembuangan gas yang dihasilkan. Pengadukan memungkinkan gas untuk melewati busa atau di atas permukaan cairan, mencegah bahan-bahan dalam cairan agar tidak jatuh ke bawah dan memungkinkan kontak antara bakteri dan bahan organik berlangsung homogen. Akibatnya, produksi gas meningkat 10-15%. Keuntungan lainnya adalah menyamakan perubahan temperatur limbah dalam fermentor, mengatur kepadatan populasi bakteri dalam bubur dan





mempercepat reaksi dengan menyediakan campuran populasi bakteri dan limbah segar.

(Trisakti, 2021)