

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Permintaan global akan energi fosil diperkirakan akan terus bertumbuh. Sehingga pemanfaatan sumber energi alternatif dan terbarukan dapat membantu memenuhi persediaan energi dunia. Salah satu sumber energi alternatif yang populer adalah bioetanol. Bioetanol merupakan energi alternatif yang mengubah biomassa menjadi bahan bakar cair. Permintaan global akan bioetanol sebesar 110 miliar liter pada 2018 dan diprediksi mencapai 140 miliar liter pada 2022 (B. Sharma et al., 2020).

Salah satu biomassa yang dapat dimanfaatkan menjadi bioetanol adalah lignoselulosa. Contoh bahan mengandung lignoselulosa adalah limbah pertanian, limbah perhutanan (mebel), dan limbah industri seperti pulp kertas. Di sisi lain konsumsi kertas dan kardus dunia mencapai 410,7 juta ton (Azeez, 2018). Limbah kertas dan kardus mengandung biomassa lignoselulosa, sehingga layak dipertimbangkan untuk menjadi bioetanol.

Pembuatan bioetanol secara umum melalui 4 tahap yaitu, pretreatment, hidrolisis, fermentasi, dan pemurnian. Kadar etanol juga harus disesuaikan dengan kebutuhan seperti etanol yang mempunyai grade 90-94% sebagai campuran untuk industri, sedangkan etanol yang memiliki grade 96-99,5% dimanfaatkan sebagai campuran untuk miras serta bahan bakar industri farmasi. Terakhir, etanol yang kadar 99,5-100% dapat dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar kendaraan (Anugrah, 2021)

#### **2.2 Landasan Teori**

Bioetanol atau juga disebut sebagai etil alkohol, struktur kimianya terdiri dari 2 atom karbon yang terikat dengan 6 atom hidrogen dan 1 atom oksigen. Rumus kimia dari bioetanol adalah  $C_2H_5OH$ . Etanol merupakan pelarut organik yang baik, dapat dimanfaatkan sebagai penghilang zat pewarna, mencegah kontaminasi bakteri, dan agen pengering (dehidrasi). Secara umum, etanol digolongkan menjadi

2 jenis berdasarkan cara pembuatan, yaitu bioetanol melalui fermentasi bakteri dan etanol sintetis dari reaksi kimia. Bioetanol dapat diproduksi menggunakan limbah organik seperti pertanian, biji-bijian, limbah makanan, limbah industri makanan, bagian dari tumbuhan, lignoselulosa, dan biomassa alga. Sedangkan etanol sintetis terbentuk sebagai hasil sampingan hidrasi katalitik dari etil-timbal dalam pemrosesan minyak bumi. Bioetanol memiliki beberapa keunggulan dibandingkan etanol sintetis. Harga produksi dari bioetanol lebih murah daripada harga pemrosesan produk minyak bumi untuk menghasilkan etanol sintetis (Yukesh Kannah et al., 2020). Etanol ( $C_2H_5OH$ ) harus memiliki sifat-sifat fisik sebagai berikut:

1. Cairan tidak berwarna
2. Mudah menguap
3. Berbau khas
4. Titik didih  $78,32\text{ }^{\circ}C$
5. Larut dalam air dan eter
6. Spesifik panas pada  $20\text{ }^{\circ}C$  adalah  $0,579\text{ cal/gr}^{\circ}C$
7. Densitas pada  $15\text{ }^{\circ}C$  adalah  $0,7937$
8. Panas pembakaran pada keadaan cair adalah  $328\text{ Kcal}$
9. Viskositas pada  $20\text{ }^{\circ}C$  adalah  $1,17\text{ cp}$
10. Flash point adalah sekitar  $70\text{ }^{\circ}C$
11. Berat molekul  $46,07\text{ gr/mol}$
12. Terjadi dari reaksi fermentasi monosakarida
13. Bereaksi dengan asam asetat, asam sulfat, asam nitrit, asam ionida (Sari & Ernawati, 2017).

Adapun bioetanol yang dihasilkan dari penelitian ini adalah bioetanol generasi kedua, karena bahan pada penelitian ini adalah bahan-bahan lignoselulosa dari sampah kertas dan limbah serbuk kayu. Bahan-bahan tersebut tidak termasuk bahan makanan sehingga tidak mengganggu ketahanan pangan, sehingga ketika tidak dimanfaatkan kembali akan menjadi sampah dari kegiatan masyarakat.

### **2.2.1 Bioetanol Generasi Pertama**

Bioetanol generasi pertama diproduksi dari pati atau gula yang ditemukan pada berbagai jenis tumbuhan pangan melalui fermentasi. Bioetanol yang diproduksi dengan fermentasi gula dari tumbuhan pangan seperti tebu, bit gula, dan sorgum; dan bahan berpati seperti gandum, jagung, dan umbi-umbian seperti singkong merupakan tumbuhan yang sering digunakan sebagai bahan bioetanol generasi pertama. Bioetanol generasi pertama memainkan peran penting dalam meletakkan dasar dari pengembangan infrastruktur dan kebijakan yang dibutuhkan untuk mendukung bioetanol sebagai bahan bakar terbarukan di pasar internasional. Namun, kelemahan terbesar dari bioetanol generasi pertama adalah persaingan dari penggunaan lahan untuk bahan pangan dan sumber energi, struktur pasar yang ketat, tidak tersedianya teknik pertanian yang mumpuni di negara ekonomi berkembang, kebutuhan air dan pupuk yang tinggi, serta ancaman biodiversitas (A. Sharma & Aggarwal, 2020).

### **2.2.2 Bioetanol Generasi Kedua**

Bioetanol generasi kedua diproduksi dari tumbuhan non pangan seperti limbah pertanian dan biomassa lignoselulosa. Bahan lignoselulosa merupakan salah satu sumber daya biokimia terbarukan yang terbanyak di dunia dengan perkiraan produksi 10-50 miliar ton yang bisa jadi dapat dimanfaatkan sebagai produksi bioetanol berskala besar. Ketika dibandingkan dengan bahan yang digunakan pada bioetanol generasi pertama, biomassa lignoselulosa sebagai sumber bahan bakar merupakan sumber yang tidak dapat dimakan sehingga tidak bersaing dengan tanaman pangan, bisa dipanen secara khusus untuk produksi bioenergi sehingga mampu meningkatkan produktivitas dan meningkatkan efisiensi penggunaan lahan. Biomassa lignoselulosa dianggap sebagai sumber daya yang mudah diakses dan berkelanjutan sebagai bahan bakar terbarukan. Biomassa lignoselulosa secara umum, mengandung 40-50% selulosa, suatu polimer glukosa; 25-35% hemiselulosa, heteropolimer yang terbentuk dari pentosa; 15-20% lignin, non-polisakarida yang terbentuk dari satuan fenil-propana (A. Sharma & Aggarwal, 2020).

Produksi bioetanol dari lignoselulosa dilakukan dalam tiga tahapan utama yakni pretreatment secara fisik, kimia, maupun biologis, hidrolisis enzim dari polisakarida selulosa dan hemiselulosa menjadi monomer gula dan tahap akhir fermentasi gula sederhana menjadi alkohol. Dikarenakan lignin bukan termasuk polisakarida dan tidak bisa dihidrolisis dan difermentasi menjadi bioetanol, lignin dapat dikembalikan setelah pretreatment dan digunakan untuk produksi panas dan listrik pada fasilitas produksi bioetanol untuk pemanfaatan bahan lignoselulosa secara penuh. Sumber umum bahan lignoselulosa yakni sisa pertanian, tanaman rumput-rumputan, dan kayu, sedangkan sumber lain yakni limbah lignoselulosa industri dan limbah padat. Contoh bahan bioetanol generasi kedua yaitu tongkol jagung, ampas tebu, jerami, limbah makanan, dll. (A. Sharma & Aggarwal, 2020).

### 2.2.3 Bahan Bioetanol

Bahan yang digunakan dalam penelitian pembuatan bioetanol ini adalah kertas HVS, kardus, dan serbuk kayu.

#### 2.2.3.1 Kertas HVS

Industri pulp dan kertas merupakan penghasil biomassa terbesar. Dengan penggunaan kertas, maka secara tidak langsung akan menghasilkan limbah residu berupa monosakarida yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan bioetanol. Dengan adanya penelitian bioetanol bahan baku kertas, industri dapat mengupayakan produksi bioetanol generasi kedua dalam skala pabrik (Anugrah, 2021).

Tabel 2.1 Komposisi kertas

Komponen Kimia	Kandungan %
Selulosa	85
Hemiselulosa	8
Senyawa abu	2
Lignin	5

Sumber: (Kalpatari et al., 2019)

### **2.2.3.2 Kertas Kardus**

Kardus merupakan limbah kertas yang memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kardus umumnya digunakan untuk pengemasan dan termasuk dalam limbah rumah tangga (Widiani et al., 2020). Kandungan polisakarida dalam kardus adalah sekitar 75% dari berat kering kardus. Kardus umumnya diproduksi dari kayu lunak, sehingga hemiselulosa yang ada pada kardus terdiri dari xilosa, arabinosa, dan galaktosa (Yáñez et al., 2004). Menurut (Ma et al., 2016) kardus memiliki kadar selulosa 57,6 %, hemiselulosa 20,8%, dan lignin 16,6%. Dengan meningkatnya belanja secara daring di masa pandemi Covid-19, penggunaan pengemasan seperti kardus kemungkinan akan meningkat. Sehingga diperlukan adanya pemanfaatan kardus sebagai produk yang memiliki nilai tambah salah satunya adalah bioetanol.

### **2.2.3.3 Serbuk Kayu**

Serbuk kayu adalah limbah dari industri pengolahan kayu yang terdiri dari sebetan, sisa kupasan, dan serbuk gergajian. Serbuk kayu merupakan hasil sampingan dari kegiatan pengolahan kayu yang sudah tidak dimanfaatkan lagi. Limbah serbuk kayu selama ini hanya dibiarkan membusuk, dibakar, atau ditumpuk sehingga menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Sehingga pemanfaatan limbah serbuk kayu sebagai produk dengan nilai tambah seperti bioetanol dapat menjadi solusi. Pada umumnya, nilai kalor dalam serbuk kayu antara 4018,25 kal/g hingga 5975,58 kal/g dan memiliki komposisi kimia yang berbeda satu dengan lain, tergantung pada varietas serta media tumbuh (Ndraha, 2010). Secara umum, serbuk kayu memiliki komposisi seperti pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Komposisi kayu

Komponen Kimia	Kandungan (%)
Holoselulosa	70,52
Selulosa	40,99
Lignin	27,88
Pentosa	16,89
Abu	1,38
Air	5,64

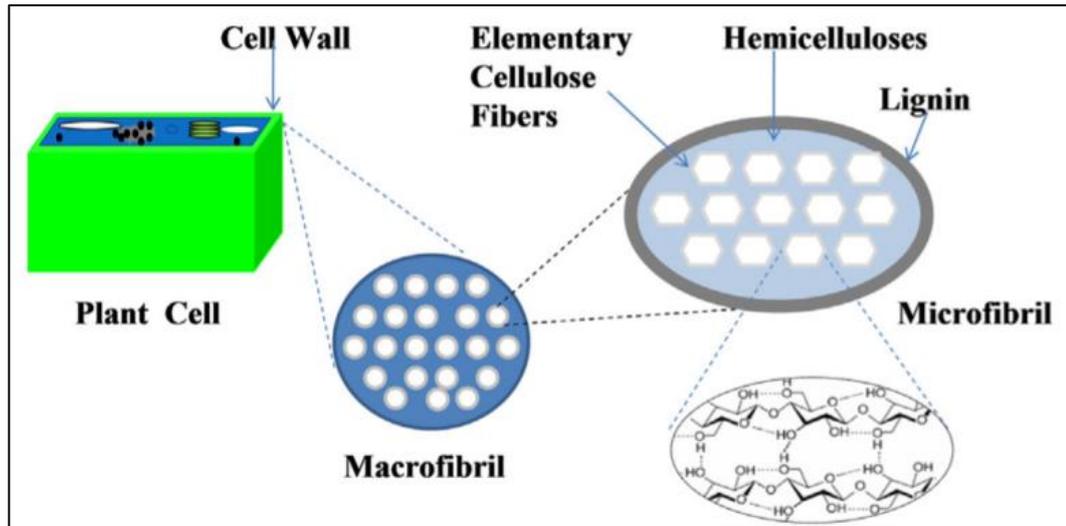
Sumber : (Ndraha, 2010)

#### **2.2.4 Komponen Penyusun Bahan**

Bioetanol dalam penelitian ini merupakan bioetanol generasi kedua, sehingga senyawa penyusun dari bahan yang digunakan adalah lignoselulosa.

##### **2.2.4.1 Lignoselulosa**

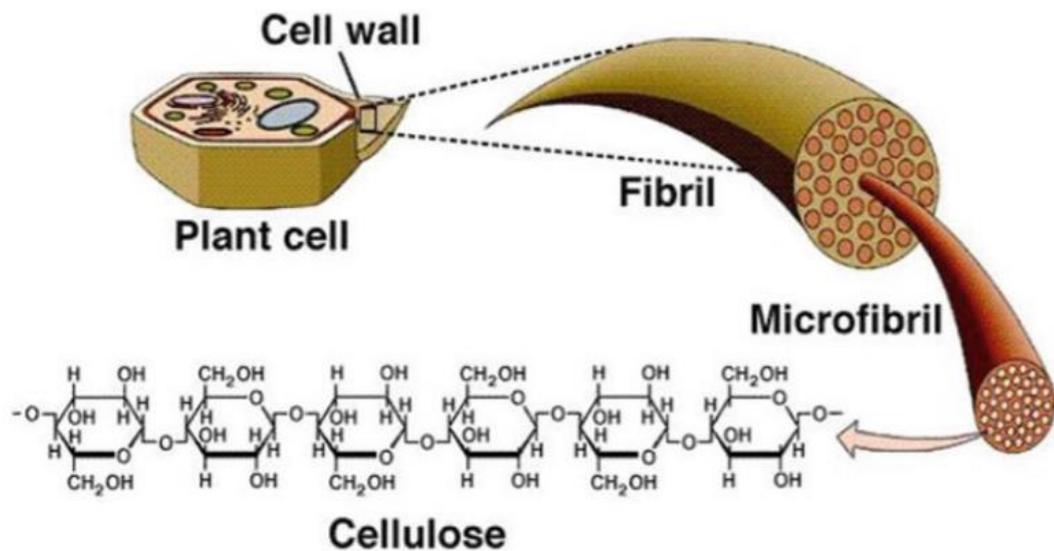
Lignoselulosa merupakan bagian tak terpisahkan dari dinding sel tumbuhan. Lignoselulosa adalah senyawa alami dan kompleks yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selulosa dan hemiselulosa yang merupakan penyusun mayoritas dari lignoselulosa, sering diasosiasikan dengan lignin dan membentuk jejaring lignoselulosa yang kompleks. Jaringan ini sangat kuat dan tahan terhadap depolimerisasi. Sehingga, membuat etanol dari bahan lignoselulosa membutuhkan proses konversi kompleks yang membuat hal tersebut menjadi hambatan secara komersial (Rezania et al., 2020). Lignoselulosa dapat ditemukan pada hasil pertanian, perkebunan, kehutanan sehingga berpotensi sebagai salah satu alternatif sumber energi.



Gambar 2.1 Skema struktur lignoselulosa yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Qian, 2013).

#### 2.2.4.2 Selulosa

Selulosa merupakan penyusun utama dari dinding sel tumbuhan. Selulosa merupakan polimer alami terbesar di alam dan tersebar di tumbuhan kuno atau tumbuhan modern. Selulosa memiliki struktur linear dan memiliki kecenderungan kuat untuk membentuk ikatan hidrogen intra-intermolekuler. Ikatan hidrogen ini bersamaan dengan gaya Vander Waal's membuat struktur selulosa menjadi kompleks. Setiap selulosa tertata memanjang berbentuk benang yang disebut mikrofibril. Setiap mikrofibril terdapat sekitar 40 selulosa. Selulosa dalam mikrofibril tertata secara rapi sehingga berbentuk seperti kristal apabila dilihat dengan X-ray. Jumlah dari selulosa ini lah yang disebut sebagai derajat polimerisasi (A. Sharma & Aggarwal, 2020).



Gambar 2.2 Skema selulosa dan fibril (A. Sharma & Aggarwal, 2020)

#### 2.2.4.3 Hemiselulosa

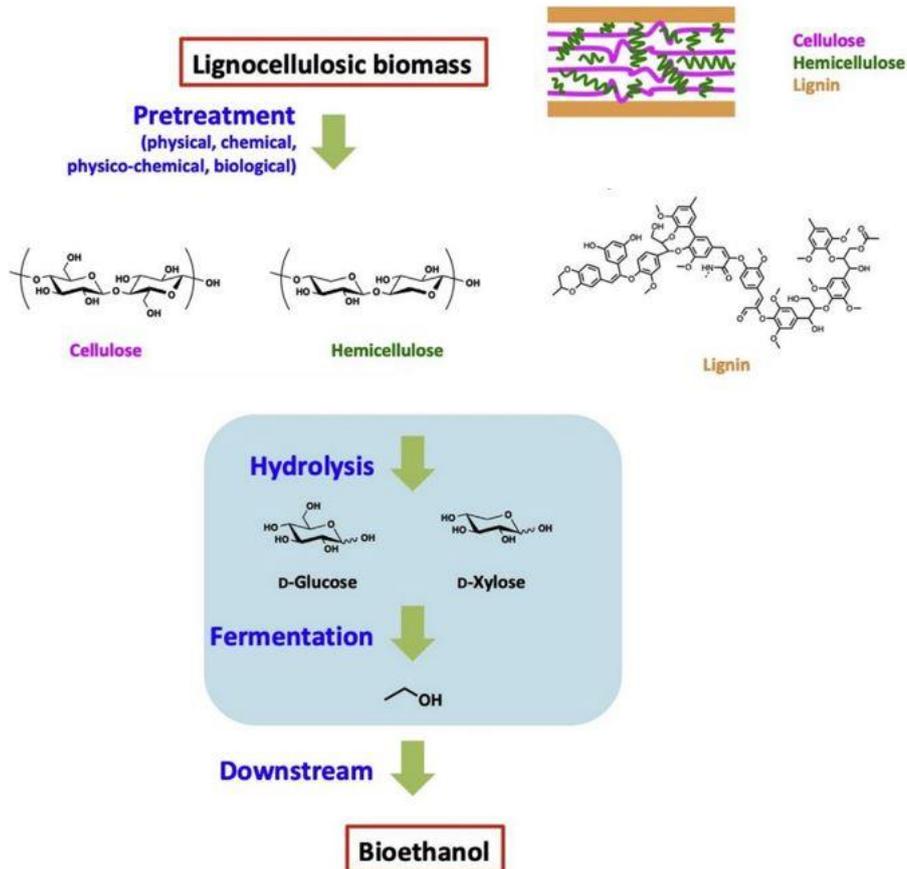
Hemiselulosa terletak antara lignin dan banyak benang selulosa di dalamnya. Hemiselulosa merupakan polimer gula yang menyusun 20-40% dari berat total suatu biomassa. Berbeda dari selulosa, hemiselulosa merupakan polimer yang terdiri dari 5 jenis gula. Polisakarida kompleks ini terjadi sehubungan dengan adanya selulosa di dalam dinding sel. Gula dengan 5C (*xylose, arabinose*) dan gula 6C (*galactose, glucose, mannose*) terkandung di dalam hemiselulosa. Komponen penyusun hemiselulosa terbanyak adalah *xylan*. Hemiselulosa adalah senyawa amorf karena kondisinya yang mudah terhidrolisis menjadi gula monomernya dibandingkan dengan selulosa (Qian, 2013).

#### 2.2.4.4 Lignin

Lignin umumnya menyusun antara 10-25% dari total berat suatu bahan lignoselulosa. Lignin merupakan polimer aromatik pada dinding sel biomassa terutama biomassa kayu (Qian, 2013). Sifat alaminya yang stabil dan tidak mudah larut dalam air bertindak sebagai lem yang menghubungkan selulosa dan hemiselulosa. Sehingga keberadaannya dapat menjadi penghambat dalam pembuatan bioetanol. Ikatan antara lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang kuat dapat membatasi jumlah karbohidrat monomer yang bisa dikonversi menjadi bioetanol. Namun sejumlah metode pretreatment fisika, kimia, dan biologi sudah

dikembangkan untuk mengurai struktur dan menghilangkan lignin (Rezania et al., 2020).

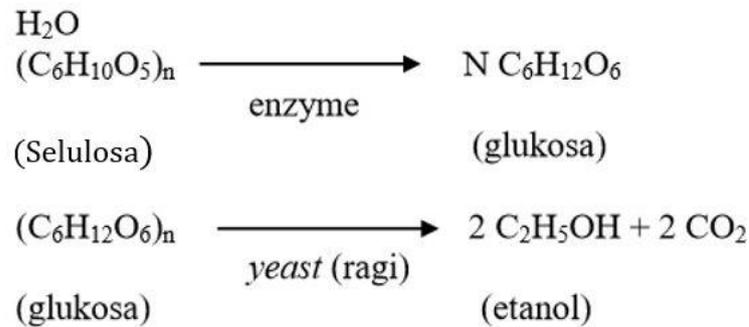
### 2.2.5 Tahap Produksi Bioetanol



Gambar 2.3 Skema proses pembuatan bioetanol dari bahan lignoselulosa (Su et al., 2020)

Lignoselulosa termasuk bahan yang sulit didegradasi, sehingga diperlukan pretreatment untuk menghancurkan sehingga selulosa dapat dipisahkan dari lignin. Pretreatment untuk lignoselulosa memiliki banyak jenis dari secara fisik, kimia, biologi, maupun kombinasi antar cara-cara tersebut. Setelah pretreatment, dilakukan hidrolisis yang dibantu enzim terhadap selulosa dan hemiselulosa, yang akan menghasilkan D-glukosa, heksosa, dan pentosa sebagai karbohidrat yang dapat difermentasi. Monomer karbohidrat dengan C-5 dan C-6 ini kemudian dapat difermentasi menjadi alkohol dengan bantuan bakteri/ragi seperti *Saccharomyces*

*cerevisiae* . Kemudian langkah terakhir adalah destilasi dan dehidrasi dari larutan etanol sehingga menghasilkan etanol dengan kadar 99,9% (Su et al., 2020).



Gambar 2.4 Reaksi sederhana selulosa menjadi bioetanol (Anugrah, 2021)

### 2.2.6.1 Pretreatment

Lignoselulosa memiliki penyusun berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Lignin dapat melindungi selulosa dan hemiselulosa sehingga bertindak sebagai dinding primer sel tanaman. Hal tersebut menyebabkan selulosa dan hemiselulosa tidak dapat dihidrolisis pada proses selanjutnya. Sehingga diperlukan proses perusakan struktur lignin (delignifikasi) agar kandungan selulosa dan hemiselulosa dapat dihidrolisis untuk diubah menjadi gula yang lebih sederhana (Mardina et al., 2013).

Pretreatment merupakan salah satu proses yang penting dalam mengonversi bahan lignoselulosa menjadi bioetanol. Hal ini disebabkan adanya lignin yang dapat menghalangi hidrolisis selulosa dan hemiselulosa. Efisiensi pretreatment merupakan hal yang harus diperhatikan untuk mendapatkan yield bioetanol yang lebih tinggi. Tujuan utama proses pretreatment adalah memperbesar luas permukaan biomassa, melarutkan lignin, dan memperkecil ukuran partikel. Pretreatment dapat dilakukan secara fisika, kimia, biologis, dan kombinasi dari beberapa pretreatment tersebut (Rezania et al., 2020).

Pretreatment secara fisika dilakukan dengan cara memarut atau menggiling. Hal tersebut dilakukan untuk memperkecil ukuran partikel bahan. Pretreatment secara kimia dilakukan dengan cara asam, basa, pelarut ionik, atau pelarut organik.

Sedangkan pretreatment biologi dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan. Namun pretreatment biologi memiliki efisiensi yang rendah sehingga memakan waktu yang cukup lama untuk pembuatan bioetanol (B. Sharma et al., 2020).

Namun pretreatment yang umum digunakan adalah pretreatment kimia dengan larutan basa. Larutan basa seperti natrium hidroksida (NaOH), kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), dan ammonia ( $\text{NH}_3$ ) adalah bahan-bahan yang sering digunakan dalam pretreatment basa. Keunggulan penggunaan pretreatment basa adalah pengurangan lignin tanpa mengurangi kadar gula sehingga dapat memberikan keuntungan pada proses hidrolisis. Akan tetapi pretreatment basa memiliki waktu reaksi yang lebih lama dibandingkan dengan pretreatment lainnya (Rezania et al., 2020).

Banyak penelitian terdahulu yang menggunakan pretreatment larutan basa sebagai proses pendahuluan dan pengoptimalisasian proses selanjutnya. Pada (Mardina et al., 2013) melakukan pretreatment dengan suhu  $55\text{ }^\circ\text{C}$  selama 4 jam dengan larutan basa NaOH berkonsentrasi 15%, terjadi pengurangan kadar lignin sebesar 89,30%. Penelitian (Carvalho et al., 2016) melakukan pretreatment menggunakan NaOH sebanyak 15% dipanaskan selama 90 menit hingga mencapai suhu maksimum  $175^\circ\text{C}$  dan selama 15 menit pada suhu maksimum, terjadi penurunan kadar lignin hingga 99% pada bahan lignoselulosa. Penelitian (Molaverdi et al., 2019) melakukan pretreatment menggunakan basa  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan suhu  $93\text{ }^\circ\text{C}$  selama 10 jam, terjadi pengurangan lignin 54,5-62,7% dengan bahan lignoselulosa. Penelitian (Yuan et al., 2018) melakukan pretreatment basa  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  11% dengan suhu  $75\text{ }^\circ\text{C}$  selama 85 menit, terjadi pengurangan lignin hingga 70,4 %.

Pretreatment asam juga merupakan pretreatment yang umum digunakan untuk produksi bioetanol dari bahan lignoselulosa. Penggunaan asam dalam pretreatment dapat meningkatkan degradasi hemiselulosa. Asam fosfat, asam asetat, dan asam sulfat merupakan jenis asam yang sering digunakan pada pretreatment asam. Larutan asam mampu memecah ikatan lignin-polisakarida sehingga dapat menghasilkan gula monomer. Pada saat yang sama, hemiselulosa

diubah menjadi gula terlarut dengan mengubah struktur lignoselulosa (Rezania et al., 2020).

Pretreatment asam encer adalah cara paling umum dalam melakukan pretreatment untuk lignoselulosa. Seperti pada (Jaisamut et al., 2016) melakukan pretreatment asam  $H_2SO_4$  dan  $Na_2SO_3$  pada suhu  $180\text{ }^\circ\text{C}$  selama 30 menit, terjadi penurunan lignin hingga 21%. Sedangkan pada (Zhu et al., 2015) melakukan pretreatment asam  $H_2SO_4$  pada suhu  $100\text{ }^\circ\text{C}$  selama 2 jam, terjadi penurunan lignin hingga 92%.

#### **2.2.6.2 Hidrolisis**

Hidrolisis merupakan proses perubahan karbohidrat polimer menjadi monomer gula. Terdapat dua cara untuk melakukan hidrolisis, yaitu hidrolisis katalis asam dan hidrolisis katalis enzim. Hidrolisis dengan katalis asam umumnya dilakukan pada suhu yang tinggi ( $100\text{-}240\text{ }^\circ\text{C}$ ) dan memiliki kemungkinan terbentuknya zat penghambat (inhibitor) karena suhu tinggi dan kondisi asam tersebut. Sedangkan hidrolisis dengan enzim memiliki beberapa keunggulan dibanding hidrolisis asam karena dapat dilakukan pada kondisi suhu yang tidak terlalu ekstrem (suhu  $50\text{-}60\text{ }^\circ\text{C}$  dengan pH 4,8-5,0) dan gula yang dihasilkan lebih tinggi tanpa terbentuk zat penghambat (B. Sharma et al., 2020).

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hidrolisis enzim, yakni pH, jumlah enzim, serta waktu. Enzim selulase merupakan kelompok enzim yang digunakan untuk mendegradasi selulosa. Kebutuhan akan enzim selulase semakin meningkat seiring banyaknya penggunaan enzim tersebut untuk kebutuhan industri seperti industri kertas, tekstil, makanan olahan, dll. (B. Sharma et al., 2020).

Penelitian (Fuadi & Harismah, 2017) membuktikan bahwa hidrolisis enzim lebih efektif dibandingkan hidrolisis asam. Pada penelitian tersebut, hidrolisis asam dilakukan dengan  $H_2SO_4$  100 mL dipanaskan dengan suhu  $90\text{ }^\circ\text{C}$ . Kadar glukosa yang dihasilkan hidrolisis asam dapat dilihat pada tabel 2.3 . Sedangkan hidrolisis enzim dilakukan dengan menambahkan air hingga 200 mL kemudian pH disesuaikan pada pH 4. Lalu ditambahkan enzim selulase sebanyak 0,3 gram dan dipanaskan pada suhu  $40\text{ }^\circ\text{C}$ . Kadar glukosa dari hidrolisis enzim dapat dilihat pada

tabel 2.4 .

Tabel 2.4 Hidrolisa asam

Waktu, jam	Glukosa yang dihasilkan, mg
1,0	0,028
1,5	0,038
2,0	0,054
2,5	0,074
3,0	0,084
3,5	0,091
4,0	0,097

Tabel 2.5 Hidrolisa enzim

Waktu, jam	Glukosa terbentuk, mg
4	35,06
20	36,56
24	38,88
28	44,61
44	47,73
48	61,41
52	92,66

Sumber: (Fuadi & Harismah, 2017)

Penelitian tersebut menunjukkan hidrolisis enzim selulase memiliki hasil yang jauh lebih baik dalam menghasilkan glukosa. Dengan mempertimbangkan suhu dan waktu yang digunakan, maka hidrolisis enzim sangat efisien dibandingkan hidrolisis asam. Sehingga pada penelitian ini akan digunakan hidrolisis enzim dengan enzim selulase.

### 2.2.6.3 Fermentasi

Fermentasi merupakan proses biologis dengan menggunakan mikroorganisme yakni ragi dan bakteri, yang mengonversi monomer gula menjadi asam, gas, dan etanol. *Saccharomyces cerevisiae* merupakan bakteri yang umum digunakan dalam produksi alkohol karena produktivitas yang tinggi dalam berbagai jenis bahan pembuatan etanol. Pada proses ini *Saccharomyces cerevisiae* akan memecah heksosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) dan pentosa ( $C_5H_{10}O_5$ ) menjadi etanol dan  $CO_2$  (B. Sharma et al., 2020).

Dalam menghasilkan etanol, proses fermentasi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Adapun faktor yang mempengaruhi tersebut adalah:

#### 1) Suhu

Pertumbuhan dan perkembangbiakan khamir (bakteri dalam proses

fermentasi) memiliki suhu optimum 28-30 °C. Proses yang terjadi pada fermentasi umumnya reaksi eksoterm, di mana suhu akan meningkat selama proses fermentasi dilakukan. Sehingga perlu dilakukan penyesuaian agar suhu masih tetap pada rentang suhu optimum 28-30 °C.

#### 2) Keasaman / pH

Dalam fermentasi, khamir memerlukan kondisi asam yaitu antara pH 4,8-5,0. Kondisi pH selama proses fermentasi cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena fermentasi menghasilkan asam asetat, asam piruvat, asam laktat dan CO<sub>2</sub>. Pengaturan pH juga dapat dilakukan yakni dengan penambahan basa apabila kondisi terlalu asam ataupun penambahan asam apabila kondisi terlalu basa. Sehingga dapat dipertahankan pH optimum 4,8-5,0.

#### 3) Nutrisi

Khamir yang terdapat pada proses fermentasi merupakan mikroorganisme. Sehingga khamir tersebut juga memerlukan nutrisi untuk tumbuh dan berkembang. Unsur nutrisi yang diperlukan yakni beberapa unsur dasar seperti karbon (C), nitrogen (N), dan fosfor (P). Unsur karbon bisa didapatkan dari gula. Sedangkan unsur nitrogen dan fosfor bisa diperoleh dari pupuk jenis NPK.

#### 4) Gula pereduksi

Gula hasil pereduksi atau hidrolisat yang didapatkan dari proses sebelumnya, yakni proses hidrolisis, menjadi faktor yang menentukan kadar etanol dalam proses fermentasi. Sehingga apabila proses hidrolisis menghasilkan banyak glukosa, maka kadar etanol yang dihasilkan juga akan semakin tinggi.

#### 5) Konsentrasi starter

Larutan starter pada proses fermentasi adalah larutan yang dibuat untuk memicu terjadinya reaksi fermentasi. Kadar starter optimal adalah 1/10 bagian dari substrat.

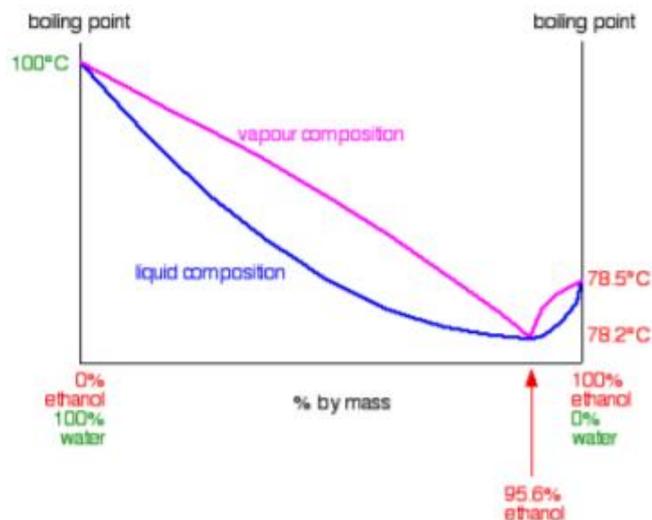
#### 6) Waktu fermentasi

Secara umum waktu yang diperlukan untuk fermentasi adalah antara 36-50 jam. Waktu optimum yang dibutuhkan untuk fermentasi adalah ±7 hari. Setelah 7 hari biasanya bakteri akan mulai mati diakibatkan tingginya kadar etanol dalam proses fermentasi (Sari & Ernawati, 2017).

#### 2.2.6.4 Destilasi

Destilasi merupakan proses memisahkan atau menyuling larutan yang memanfaatkan perbedaan titik didih antara dua atau lebih larutan (Cseri et al., 2018). Hasil fermentasi bioetanol perlu melalui proses destilasi. Hal tersebut dikarenakan masih terdapat air di dalam produk hasil fermentasi. Dengan memanfaatkan titik didih etanol yaitu  $78^{\circ}\text{C}$  dan titik didih air  $100^{\circ}\text{C}$ . Pada saat suhu larutan mencapai titik didih etanol  $78^{\circ}\text{C}$  terpenuhi, etanol akan menguap kemudian melewati unit kondensor untuk kembali ke fase cair (Anugrah, 2021).

Beberapa teknik destilasi yang umum dipakai adalah destilasi sederhana, destilasi fraksi, dan destilasi vakum. Pada destilasi sederhana, komponen yang diinginkan akan diuapkan dan disalurkan melalui kolom destilasi dan kondensor, dimana akan kembali ke fase semula. Teknik ini mampu memisahkan campuran yang mengandung bahan tidak mudah menguap seperti partikel padatan dan campuran yang memiliki setidaknya selisih titik didih sebesar  $70^{\circ}\text{C}$  (Cseri et al., 2018). Destilasi campuran etanol-air mampu menghasilkan etanol dengan kadar maksimum 95,6 %. Destilasi dilakukan pada suhu  $78,2^{\circ}\text{C}$  sehingga hanya etanol saja yang mendidih dan uapnya mengalir melalui kondensor/reflux. (Deviation, 2021)



Gambar 2.5 Grafik Persen Etanol Terhadap Titik Didih (Deviation, 2021)

### 2.2.6.5 Adsorpsi

Teknik adsorpsi dapat digunakan untuk memisahkan campuran air-etanol baik dalam fase cair ataupun fase uap. Adsorben yang umum digunakan adalah Zeolit tipe A, bahan berselulosa, dll. Adsorpsi air pada fase uap umumnya menggunakan adsorben anorganik, seperti Zeolit berbentuk molecular sieve (3A dan 4A), litium klorida, dan silika gel (Frolkova & Raeva, 2010).

Molecular sieve dengan pori yang kecil dapat menyerap air dengan baik, sehingga adsorben tersebut paling efisien dalam menyerap air dari larutan dengan kandungan air yang sedikit. Salah satu cara dehidrasi etanol yang bisa dilakukan adalah kombinasi destilasi-adsorpsi. Dehidrasi etanol dengan molecular sieve sintesis menawarkan beberapa keunggulan, seperti desain proses yang sederhana, tahan lama hingga 5 tahun, regenerasi yang mudah, serta efisien secara ekonomi. Serta tingginya kapasitas adsorpsi dan kecepatan difusi airnya (Frolkova & Raeva, 2010).

Adsorpsi merupakan fenomena kontak antara partikel padatan dan cairan dengan kondisi tertentu sehingga cairan dapat terserap pada permukaan partikel padatan dan cairan yang tidak diserap mengalami perubahan konsentrasi. Dapat dikatakan, adsorpsi adalah proses penyerapan suatu cairan ke dalam permukaan zat padat lain. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi adalah jenis dari adsorben (Soraya Isvandiary, Siti Tjahjani, 2020). Proses pemurnian etanol dengan adsorpsi zeolit adalah cara sederhana, murah dan hemat energi dibandingkan pemurnian etanol lainnya. Salah satu cara melakukan adsorpsi adalah dengan mengombinasi destilasi-adsorpsi. Seperti pada penelitian (Novitasari, 2012), kombinasi destilasi-adsorpsi dengan zeolite 4A 100 gram selama 50 menit mampu meningkatkan kadar etanol dari 80% menjadi 98,42%. Air mampu terjerap ke dalam zeolit 4A karena ukuran pori zeolit 4A adalah 4 angstrom sedangkan besar molekul air adalah 3 Angstrom dan besar molekul etanol adalah 4,4 angstrom. Destilasi dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi karena air yang terjerap berada dalam fase uap. Selain itu, proses adsorpsi pada penelitian tersebut dipengaruhi oleh jumlah adsorben, jenis adsorben, serta lama proses. (Novitasari, 2012).

### 2.3 Hasil Penelitian Terdahulu

No	Judul	Metodologi	Hasil
1	Uji Efektivitas Sampah Pangan Dan Non Pangan Dalam Menghasilkan Bioetanol Generasi Kedua (Anugrah, 2021).	Membuat bioetanol dengan variabel delignifikasi, waktu fermentasi, larutan starter, dan bahan (HVS, koran, kluwek, tongkol jagung)	Hasil terbaik etanol dari HVS, delignifikasi, starter 20% dan 10 hari fermentasi dengan kadar 23,78%.
2	Biokonversi Kertas HVS Bekas menjadi Bioetanol dengan Variabel Konsentrasi <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Kalpatari et al., 2019)	Membuat bioetanol dengan variabel konsentrasi ragi, dan waktu fermentasi.	Hasil terbaik bioetanol kadar 6% dengan waktu fermentasi 144 jam dan ragi 5 gram.
3	Assessment of alkaline pretreatment for the production of bioethanol from eucalyptus, sugarcane bagasse and sugarcane straw (Carvalho et al., 2016).	Pretreatment menggunakan NaOH sebanyak 15% dipanaskan selama 90 menit hingga mencapai suhu maksimum 175°C dan selama 15 menit pada suhu maksimum.	Terjadi penurunan lignin hingga 99% dengan pretreatment NaOH 15%, serta kadar etanol tertinggi yaitu 8,8g/L.
4	Improvement of dry simultaneous saccharification and fermentation of rice straw to high concentration ethanol by sodium carbonate pretreatment (Molaverdi et al., 2019).	Pretreatment menggunakan basa Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> dengan suhu 93 °C selama 10 jam.	terjadi pengurangan lignin 54,5-62,7% serta kadar etanol tertinggi 40g/L.

5	Perbandingan Efektifitas Pembuatan Glukosa dari Kerta Bekas Secara Hidrolisis Asam dan Enzim (Fuadi & Harismah, 2017).	Hidrolisis asam dilakukan dengan $H_2SO_4$ 100 mL dipanaskan dengan suhu 90 °C. Hidrolisis enzim dilakukan dengan menambahkan air hingga 200 mL kemudian pH disesuaikan pada pH 4.	Hidrolisis enzim menghasilkan gula lebih baik daripada hidrolisis asam dengan waktu dan suhu yang sama.
6	Evaluation of an organosolv-based biorefinery process to fractionate wheat straw into ethanol and co-products (Yuan et al., 2018) .	Pretreatment basa $Na_2CO_3$ 11% dengan suhu 75 °C selama 85 menit.	Terjadi pengurangan lignin hingga 70,4 %, dan kadar etanol tertinggi 65g/L.
7	Effect of sodium sulfite on acid pretreatment of wheat straw with respect to its final conversion to ethanol (Jaisamut et al., 2016).	melakukan pretreatment asam $H_2SO_4$ dan $Na_2SO_3$ pada suhu 180 °C selama 30 menit.	Terjadi penurunan lignin hingga 21%. Serta kadar etanol tertinggi dihasilkan 17.25 g/100 g.
8	Pretreatment of rice straw for ethanol production by a two-step process using dilute sulfuric acid and sulfomethylation reagent (Zhu et al., 2015).	pretreatment asam $H_2SO_4$ pada suhu 100 °C selama 2 jam.	terjadi penurunan lignin hingga 92%.