

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tanaman Eceng Gondok

Eceng gondok atau *Eichornia crassipes* merupakan tumbuhan air tawar yang dikenal sebagai gulma. Tumbuhan ini banyak ditemukan di Indonesia khususnya diperairan tawar yang menyerap nutrisi dalam pertumbuhannya. Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Oleh karena itu, dengan pertumbuhan tanaman eceng gondok yang cepat akan menyebabkan sungai-sungai ataupun perairan menjadi dangkal serta menyebabkan terjadinya eutrofikasi akibat terhalangnya sinar matahari yang masuk ke dalam air yang mampu disebabkan oleh kerapatan tumbuhan antar eceng gondok.

Eceng gondok adalah tanaman yang hidup mengapung di air dan kadang-kadang berakar dalam tanah. Tingginya sekitar 0,5 meter. Eceng gondok tidak mempunyai batang, daunnya tunggal dan berbentuk oval, ujung dan pangkalnya meruncing, pangkal tangkai daun menggelembung, permukaan daunnya licin dan berwarna hijau. Bunganya termasuk bunga majemuk, berbentuk bulir, kelopaknya berbentuk tabung. Akarnya merupakan akar serabut. Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) berkembang biak dengan sangat cepat, baik secara vegetatif maupun generatif. Pada umumnya eceng gondok tumbuh dengan cara vegetatif yaitu, dengan menggunakan stolon. Kondisi optimum bagi perkembangannya memerlukan kisaran waktu antara 11 – 18 hari. (R. Nuryana, 2016). Tanaman eceng gondok dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Tanaman Eceng Gondok

Selain dikenal dengan tanaman pengganggu, eceng gondok memiliki kemampuan dalam penyerapan logam-logam berat seperti Cr, Pb, Hg, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn dengan baik sehingga sering di jadikan tanaman yang mampu mengolah air buangan domestik dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Selain itu, eceng gondok dapat menurunkan kadar BOD serta partikel suspensi secara biokimia berlangsung secara lambat. (Lail, 2008). Klasifikasi tanaman eceng gondok dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Klasifikasi Tanaman Eceng Gondok

<b>Kingdom</b>	<i>Plantae</i>
<b>Sub Kingdom</b>	<i>Tracheobionta</i>
<b>Super Divisi</b>	<i>Spermathopyta</i>
<b>Divisi</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Kelas</b>	<i>Liliopsida</i>
<b>Ordo</b>	<i>Alismatales</i>
<b>Famili</b>	<i>Butumaceae</i>
<b>Genus</b>	<i>Eichornia</i>
<b>Spesies</b>	<i>Eichornia crassipes solms</i>

(Sumber: R.Nuryana.2016)

### **2.1.1 Habitat Tanaman Eceng Gondok**

Perkembangbiakkan tanaman eceng gondok yang sangat cepat inilah yang merubahnya menjadi tanaman gulma di beberapa wilayah perairan Indonesia. Eceng gondok tumbuh di kolam-kolam dangkal, tanah basah dan rawa, aliran air yang lambat, danau, tempat penampungan air, dan sungai. Tumbuhan ini dapat beradaptasi dengan perubahan kondisi yang ekstrem, yaitu dari ketinggian air, arus air, perubahan ketersediaan nutrisi, pH, temperatur, dan racun-racun dalam air. Pertumbuhan eceng gondok yang cepat disebabkan oleh adanya air yang mengandung nutrisi tinggi, terutama yang kaya akan nitrogen, fosfat, dan potasium. Di kawasan perairan danau, eceng gondok tumbuh pada bibir pantai sejauh 5-20 meter. Hal ini menyebabkan berkurangnya volume air dan pendangkalan sungai, dikarenakan sifat tanaman ini yang mampu menyerap air sangat banyak. Di Indonesia, terdapat 3 jenis eceng gondok yakni eceng gondok sungai, eceng gondok rawa, dan eceng gondok kolam. Danau dan waduk yang telah ditumbuhi eceng gondok semakin banyak, misalnya Danau Toba, Danau Kerinci, Danau Sentani, Waduk Saguling, Waduk dan Bendung Curug (ketiganya di DAS Citarum). Demikian juga eceng gondok di Sungai Rokan, Siak, Musi, dan sungai lainnya di Indonesia. Beberapa faktor lingkungan ternyata sangat mempengaruhi kelimpahan dan penyebaran eceng gondok di perairan tersebut, diantaranya kecepatan arus dan kedalaman air. (R. Nuryana, 2016)

### **2.1.2 Komposisi Tanaman Eceng Gondok**

Eceng gondok dalam 100 gram memiliki kandungan nutrisi seperti yang diuraikan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Kandungan Nutrisi Eceng Gondok

No	Kandungan Nutrisi	Nilai
1	Energi	18 kkal
2	Protein	1 gram
3	Lemak	0,2 gram
4	Karbohidrat	3,8 gram
5	Kalsium	80 gram
6	Fosfor	45 mg
7	Zat Besi	4 mg
8	Vitamin A	1000 IU
9	Vitamin B1	0,08 mg
10	Vitamin C	50 mg

(Sumber: Eka, 2013)

Komposisi kimia eceng gondok tergantung pada kandungan unsur hara tempatnya tumbuh, dan sifat daya serap tanaman tersebut. Eceng gondok mempunyai sifat-sifat yang baik antara lain dapat menyerap logam-logam berat, senyawa sulfida, selain itu mengandung protein lebih dari 11,5%. Kandungan kimia serat eceng gondok dapat dilihat pada Tabel 2.3:

**Tabel 3.3** Kandungan Kimia Eceng Gondok

Kandungan Kimia	Nilai (%)
Selulosa	64,51
Hemiselulosa	15,61
Lignin	7,69

(Sumber: Roechyati, 1983 dalam Rosdiana 2016)

### 2.1.2.1 Selulosa

Selulosa adalah polisakarida yang terdiri atas satuan glukosa yang terikat dengan ikatan 1,4-glycosidic dengan rumus  $(C_6H_{10}O_5)_n$  dengan n adalah derajat polimerisasinya. Struktur kimia selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut sehingga tidak mudah didegradasi secara kimia/mekanis. Molekul glukosa disambung menjadi molekul besar, panjang, dan berbentuk rantai dalam susunan

menjadi selulosa. Semakin panjang suatu rangkaian selulosa, maka rangkaian selulosa tersebut memiliki serat yang lebih kuat, lebih tahan terhadap pengaruh bahan kimia, cahaya, dan mikroorganisme. Molekul selulosa seluruhnya berbentuk linier dan memiliki kecenderungan kuat untuk membentuk ikatan hidrogen inter dan intra molekul. Selulosa merupakan bahan dasar yang penting bagi industri seperti pabrik kertas, pabrik sutera tiruan dan masih banyak lainnya. Ketersediaan selulosa dalam jumlah yang besar akan membentuk serat yang kuat, tidak larut dalam air, tidak larut dalam pelarut organik, dan berwarna putih. Sifat selulosa terdiri dari sifat fisika dan kimia. Selulosa dengan rantai panjang memiliki sifat fisik yang lebih kuat, tahan lama terhadap degradasi yang disebabkan oleh pengaruh panas, bahan kimia maupun pengaruh biologis. Sifat fisik lain dari selulosa adalah:

- a. Berwarna putih.
- b. Berat molekul berkisar antara 300.000-500.000gr/mol.
- c. Dapat terdegradasi oleh hidrolisa, oksidasi, fotokimia, maupun secara mekanis sehingga berat molekulnya berkurang.
- d. Tidak larut dalam pelarut organik, tetapi sebagian larut pada larutan alkali.
- e. Dalam keadaan kering, selulosa bersifat higroskopis (baik menyerap air), keras, dan rapuh. Jika selulosa mengandung banyak air maka akan bersifat lunak. Jadi fungsi air adalah sebagai pelunak.
- f. Selulosa dalam kristal memiliki kekuatan lebih baik dibandingkan dengan bentuk amorfnya.

Selulosa dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu  $\alpha$  selulosa (*alpha cellulose*),  $\beta$  selulosa (*betha cellulose*), dan  $\gamma$  selulosa (*gamma cellulose*):

- a)  $\alpha$  Selulosa (*Alpha Cellulose*) adalah selulosa berantai panjang yang tahan dan tidak larut dalam larutan NaOH atau larutan basa kuat dengan derajat polimerisasi 600-15000. Selulosa dengan derajat kemurnian  $\alpha$  di atas 92% memenuhi syarat sebagai bahan baku pembuatan propelan atau bahan peledak, sedangkan selulosa dengan kualitas di bawahnya digunakan sebagai bahan baku pada industri pembuatan kertas dan industri kain (serat rayon). Semakin tinggi kadar  $\alpha$  selulosa, maka semakin baik mutu bahannya.

- b)  $\beta$  Selulosa (*Betha Cellulose*) adalah selulosa berantai pendek yang larut dalam larutan NaOH atau basa kuat dengan derajat polimerisasi berkisar antara 15-90.  $\beta$  selulosa dapat mengendap jika ekstrak dinetralkan.
- c)  $\gamma$  Selulosa (*Gamma Cellulose*) adalah selulosa berantai pendek yang larut dalam larutan NaOH atau basa kuat dengan derajat polimerisasi kurang dari 15.

Untuk mendapatkan selulosa murni dilakukan tahapan dimana selulosa dipisahkan dari zat pengotornya. Pemisahan dilakukan pada kondisi optimum untuk mencegah degradasi terhadap selulosa. Kesulitan yang dihadapi dalam proses pemisahan ini antara lain :

1. Berat molekul yang tinggi
2. Keasaman sifat antara komponen impuritis dengan selulosa itu sendiri
3. Kristalinitas yang tinggi
4. Ikatan fisika dan kimia yang kuat

Selama pembuatan selulosa murni, terjadi degradasi yang disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Degradasi Oleh Hidrolisa Asam  
Terjadi pada temperatur yang cukup tinggi dan berada pada media asam pada waktu yang cukup lama. Akibat dari degradasi ini adalah terjadinya reaksi yakni selulosa terhidrolisa menjadi selulosa dengan berat molekul rendah. Keaktifan asam pekat untuk mendegradasi selulosa berbeda-beda.
2. Degradasi Oleh Oksidator  
Senyawa oksidator sangat mudah mendegradasi selulosa menjadi molekul yang lebih kecil. Hal ini tergantung dari oksidator dan kondisinya. Macam-macam oksidator adalah sebagai berikut :
  - a. Chlorin mengoksidasi gugus karboksil dan aldehyd. Oksidasi karboksil menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ , sedangkan oksidasi aldehyd menjadi karboksil dan jika oksidasi diteruskan akan menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

- b. Hipoklorit akan menghasilkan oksidasi selulosa yang mengandung persentase gugus hidroksil tinggi pada kondisi netral/alkali.
- c.  $\text{NO}_2$  mengoksidasi hidroksil primer dari selulosa menjadi karboksil. Oksidasi ini tidak akan memecah rantai selulosa kecuali terdapat alkali.

### 3. Degradasi Oleh Panas

Pengaruh panas lebih besar jika dibandingkan dengan asam atau oksidator. Serat selulosa yang dikeringkan pada temperatur tinggi akan mengakibatkan hilangnya sebagian higroskopisitasnya (*swelling ability*). Hal ini karena :

- a. Bertambahnya ikatan hidrogen antara molekul selulosa yang berdekatan.
- b. Terbentuknya ikatan rantai kimia diantara molekul selulosa yang berdekatan.
- c. Pemanasan serat pada temperatur sekitar  $100^\circ\text{C}$  akan menghilangkan kemampuan mengembang sekitar 50%.

(R. Nuryana, 2016)

#### 2.1.2.2 Hemiselulosa

Rantai hemiselulosa lebih pendek dibandingkan rantai selulosa, karena derajat polimerisasinya yang lebih rendah. Berbeda dengan selulosa, polimer hemiselulosa berbentuk tidak lurus tetapi merupakan polimer-polimer bercabang dan strukturnya tidak bersifat kristal. Hal ini yang menjadikan hemiselulosa lebih mudah dimasuki pelarut dan bereaksi dengan larutan dibanding selulosa. Hemiselulosa bersifat hidrofibil (mudah menyerap air) yang mengakibatkan strukturnya yang kurang teratur.

Secara struktural, hemiselulosa mirip dengan selulosa yang merupakan polimer gula. Namun, berbeda dengan selulosa yang hanya tersusun atas glukosa, hemiselulosa tersusun dari bermacam-macam jenis gula. Monomer gula penyusun

hemiselulosa terdiri dari monomer gula berkarbon lima (pentosa/C-5), gula berkarbon enam (heksosa/C-6), asam heksuronat, dan deoksi heksosa. Hemiselulosa akan mengalami reaksi oksidasi dan degradasi terlebih dahulu daripada selulosa, karena rantai molekulnya yang lebih pendek dan bercabang.

Hemiselulosa tidak larut dalam air tetapi larut dalam larutan alkali encer dan lebih mudah dihidrolisa oleh asam daripada selulosa. Hemiselulosa berfungsi sebagai perekat dan mempercepat pembentukan serat. Hilangnya hemiselulosa akan mengakibatkan adanya lubang antar fibril dan berkurangnya ikatan antar serat. (R. Nuryana, 2016)

### **2.1.2.3 Lignin**

Lignin merupakan senyawa yang sangat kompleks dengan berat molekul yang tinggi. Lignin terdapat diantara sel-sel dan di dalam dinding sel. Dimana fungsi lignin yang terletak diantara sel adalah sebagai perekat untuk mengikat atau sebagai perekat antar sel. Sementara dalam dinding sel, lignin erat hubungannya dengan selulosa dan berfungsi untuk memberikan ketegaran pada sel. (Achmadi, 1990).

### **2.1.3 Dampak Positif dan Negatif Pertumbuhan Eceng Gondok**

Pertumbuhan eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Namun tidak hanya memiliki dampak yang negatif, tanaman eceng gondok juga memiliki dampak yang positif pada pertumbuhannya bagi lingkungan. Berikut ini merupakan uraian mengenai dampak positif dan negatif pertumbuhan eceng gondok.



### A. Dampak Positif Pertumbuhan Eceng Gondok:

#### 1. Mencegah Akumulasi Logam Berat

Mengonsumsi ikan air tawar secara terus menerus bias membahayakan bagi tubuh, karena dalam ikan air tawar terdapat logam berat yang apabila akumulasi logam berat dalam tubuh semakin bertambah dalam jangka waktu yang panjang dapat menyebabkan bibir sumbing, penyakit minamata, cacat pada bayi dan kerusakan saraf. Untuk itu perlu adanya penanganan, salah satunya dengan tumbuhan enceng gondok. Dari hasil penelitian, enceng gondok ini mampu menyerap logam berat dalam perairan. Jika itu dilakukan secara terus menerus maka kandungan logam berat dalam air bias mencapai titik 0.

#### 2. Pupuk Organik

Dari hasil penelitian, enceng gondok ini kaya akan asam humat yang menghasilkan senyawa fitohara yang berfungsi untuk mempercepat pertumbuhan akar pada tanaman, selain itu juga mengandung asam triterpenoid, sianida, alkanoid, dan kaya akan kalsium. Dengan begitu enceng gondok sangat memungkinkan untuk dijadikan pupuk organik. Pupuk organik enceng gondok bias dimanfaatkan untuk jenis sayuran seperti bayam, wortel, cabe, terong, dan buah-buahan. Pupuk organik dari bahan baku enceng gondok ini dapat pula digunakan sebagai media tumbuh persemaian, pembibitan maupun pertumbuhan tanaman wadah (pot). Dengan tersedianya pupuk organik tersebut, diharapkan dapat membantu upaya pemulihan kualitas air danau dan mempercepat upaya pemulihan lahan kritis di daerah tangkapan air danau.

#### 3. Bioetanol

Bioetanol merupakan salah satu energi alternatif yang dipertimbangkan sebagai pengganti bahan bakar atau pensubstitusi minyak bumi. Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar atau substituent akan menurunkan emisi gas berbahaya (CO, NO, dan SO<sub>2</sub>) dan menghasilkan gas rumah kaca yang sangat rendah bila dibandingkan dengan pembakaran minyak bumi. Pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar tambahan juga dapat menurunkan emisi senyawa organik hidrokarbon, benzena karsinogenik, butadiena dan emisi partikel yang dihasilkan dari pembakaran minyak bumi.

#### 4. Eceng Gondok Sebagai Bahan Pengganti

Eceng gondok memiliki manfaat sebagai bahan pengganti. Eceng gondok dapat dijadikan bahan pengganti pembuat kertas dan rotan. Hanya saja kembali lagi dengan pengetahuan pemerintah dan masyarakat yang masih kurang.

#### 5. Sebagai Media Pertumbuhan Jamur

Eceng gondok juga memiliki manfaat sebagai tempat pertumbuhan jamur. Jamur yang dapat tumbuh pada eceng gondok adalah jamur merang.

#### 6. Sebagai Lahan Bisnis Kerajinan

Sebenarnya masyarakat Indonesia sangatlah kreatif karena dapat membuat segala macam hal sebagai bisnis, termasuk pemanfaatan eceng gondok. Di wilayah Jawa Tengah dan Jawa Timur beberapa masyarakat menjadikan tanaman eceng gondok sebagai bahan untuk memproduksi kerajinan tangan seperti tas, dompet, gorden, taplak, dan lainnya.

(R. Nuryana, 2016)

### B. Dampak Negatif Pertumbuhan Eceng Gondok:

Dampak negatif yang dapat ditimbulkan eceng gondok cukup banyak, maka penanganan atau pengolahan tanaman ini harus dilaksanakan dengan lebih serius.

Akibat – akibat negatif yang ditimbulkan eceng gondok antara lain:

1. Meningkatkan evapotranspirasi (penguapan dan hilangnya air melalui daun-daun tanaman), karena daun-daunnya yang lebar dan serta pertumbuhannya yang cepat.
2. Menurunnya jumlah cahaya yang masuk ke dalam perairan sehingga menyebabkan menurunnya tingkat kelarutan oksigen dalam air (*DO: Dissolved Oxygens*).
3. Tumbuhan eceng gondok yang sudah mati akan turun ke dasar perairan sehingga mempercepat terjadinya proses pendangkalan.
4. Mengganggu lalu lintas (transportasi) air, khususnya bagi masyarakat yang kehidupannya masih tergantung dari sungai seperti di pedalaman Kalimantan dan beberapa daerah lainnya.
5. Meningkatkan habitat bagi vektor penyakit pada manusia.
6. Menurunkan nilai estetika lingkungan perairan. (R. Nuryana, 2016)

## 2.2 Bioetanol

Bioetanol atau etil alkohol ( $C_2H_5OH$ ), merupakan cairan yang tidak berwarna, larut dalam air, eter, aseton, benzen dan semua pelarut organik serta memiliki bau khas alkohol. Bioetanol adalah cairan biokimia yang berasal dari proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat menggunakan bantuan mikroorganisme, karena pembuatannya melibatkan proses biologis. Bioetanol dapat di pandang sebagai turunan dari etana  $C_2H_6$  dengan salah satu atom H digantikan dengan gugus hidroksil. Alkohol yang diproduksi secara biologi, yang umum adalah bioetanol. (Jefri dan Iskandar, 2014)

### 2.2.1 Sifat Fisika dan Kimia Bioetanol

Mengingat pemanfaatan bioetanol yang beraneka ragam, sehingga grade bioetanol yang dimanfaatkan harus berbeda sesuai dengan persamaannya. Untuk bioetanol yang mempunyai grade 90-96,65% dapat di gunakan pada industri, sedangkan bioetanol yang mempunyai grade 90-96,65% dapat digunakan sebagai campuran untuk bahan dasar industri farmasi. Besarnya grade bioetanol yang dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar untuk kendaraan sebesar 99,5-100%. Perbedaan besarnya grade akan berpengaruh terhadap proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air (Othmer, Kirk, 2005).

Secara detail, sifat-sifat fisik dan kimia bioetanol dapat di lihat pada Tabel 2.4:

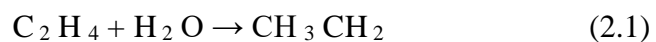
**Tabel 4.4** Sifat Fisika dan Kimia Bioetanol

Keterangan	Nilai
Titik didih normal, °C, 1 atm	78,39
Titik beku normal, °C, 1 atm	-114,15
Indeks bias	1,36048
Berat jenis ,g/ml	0,79044
Tekanan Kritis, kPa	6383,48
Volume kritis, L/mol	0,167
Viskositas pada 20°C, mPa.s	1,17
Kelarutan dalam air pada 20°C	Saling larut
Titik kejut, °C	13
Tempertaur penyalaan, °C	425

(Sumber: Othmer, Kirk. 2005)

### 2.2.2 Kegunaan Bioetanol

Dalam dunia industri bioetanol digunakan pada berbagai produk meliputi campuran bahan bakar, produk minuman, penambah rasa, industri farmasi, dan bahan-bahan kimia. Bioetanol digunakan untuk bahan baku industri atau pelarut (kadang-kadang disebut sebagai etanol sintetis) yang terbuat dari petrokimia saham pakan, terutama oleh asam katalis hidrasi etilena, diwakili oleh persamaan kimia.



Bioetanol yang berarti alkohol ini sering digunakan dalam ilmu farmasi dan ilmu kimia. Dalam kimia bioetanol adalah pelarut penting dan di gunakan untuk stok senyawa sintetis lainnya dan bioetanol juga dapat digunakkan sebagai bahan bakar. Bioetanol merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dijadikan sebagai energi alternatif dari bahan bakar nabati (BBN). Bioetanol mempunyai beberapa kelebihan dari pada bahan bakar lain seperti premium antara lain sifat bioetanol yang dapat diperbaharui, menghasilkan gas buangan yang ramah lingkungan karena gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan rendah . (Jeon, 2007)

Selain itu bioetanol digunakan sebagai pelarut karena untuk konsumsi dan penggunaan pada manusia contohnya penggunaan pada pemakain pewarna makanan, perasa, obat-obatan serta dapat di gunakan juga sebagai parfum. Bioetanol adalah salah satu pelarut yang sangat serbaguna, dia dapat larut dalam air dan pelarut organik lainnya, meliputi asam asetat, aseton,benzena,karbon tetraklorida,kloroform,dietil eter, etilena glikol, gliserol,nitrometana, piridina, dan toluena. Selain dapat larut dalam pelarut organik dan dalam air bioetanol juga larut dalam hidrokarbon alifatik yang ringan,Seperti pentana dan heksana,dan juga larut dalam senyawa klorida alifatik seperti trikloroetana dan tetrakloroetilena. (Jeon, 2007)

### 2.2.3 Cara Pembuatan Bioetanol

Secara umum alkohol merupakan bioetanol dengan rumus kimia  $C_2H_5OH$ . Zat cair jernih ini tak berwarna, berbau khas, mudah terbakar dan mudah bercampur dengan air. Proses pengolahan bioetanol dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara sintesis dan secara fermentasi.

#### 1. Sintesis

Pada cara sintesis dilakukan dengan menggunakan reaksi kimia yang mengubah bahan baku menjadi alkohol. Contoh reaksi hidrasi etilena yang merupakan hasil sampingan pada proses penyulingan minyak bumi. Reaksi:



#### 2. Fermentasi

Cara ini dilakukan dengan menggunakan aktivitas mikroba. Bahan yang mengandung karbohidrat harus dihidrolisis terlebih dahulu sebelum difermentasi. Proses pembuatan bioetanol dengan bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat dilakukan dengan dua tahapan yaitu:

##### a. Proses Sakarifikasi

Pada tahap ini tepung atau pati diubah menjadi gula sederhana yaitu glukosa dan sebagian fruktosa.

##### b. Proses fermentasi alkohol

Pada tahap ini merupakan tahap lanjutan yaitu mengubah glukosa hasil sakarifikasi menjadi etanol dengan melibatkan mikroorganisme.

## 2.3 Fermentasi

Fermentasi berasal dari bahasa Latin *fervere* yang berarti mendidihkan. Seiring perkembangan teknologi, definisi fermentasi meluas, menjadi semua proses yang melibatkan mikroorganisme untuk menghasilkan suatu produk yang disebut

metabolit primer dan sekunder dalam suatu lingkungan yang dikendalikan. Pada mulanya istilah fermentasi digunakan untuk menunjukkan proses perubahan glukosa menjadi alkohol yang berlangsung secara anaerob. Namun, kemudian istilah fermentasi berkembang lagi menjadi seluruh perombakan senyawa organik yang dilakukan mikroorganisme yang melibatkan enzim yang dihasilkannya. Dengan kata lain, fermentasi adalah perubahan struktur kimia dari bahan-bahan organik dengan memanfaatkan agen-agen biologis terutama enzim sebagai biokatalis. (Lucia Suci, 2008)

### 2.3.1 Jenis-jenis Fermentasi

Proses fermentasi dibagi menjadi 2, yaitu fermentasi secara *batch* fermentasi secara *continuous*. Pada fermentasi *batch*, pertumbuhan mikroorganisme dan sintesis produk berlangsung dalam media, kemudian setelah sintesis produk maksimum, semua substrat diambil bersamaan dan dilakukan proses isolasi produk. (Iman, 2008). Pada fermentasi secara *continuous*, media nutrisi ditambahkan secara terus menerus, diimbangi dengan pengambilan substrat dari fermentor juga secara terus menerus untuk mendapatkan sel-sel atau produk fermentasi. (Rusmana, 2008). Perbandingan antara fermentasi secara *batch* dan secara kontinyu dapat dilihat pada Tabel 2.5:

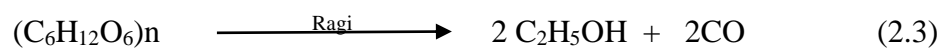
**Tabel 2.5** Perbandingan Fermentasi *Batch* dan *Continuous*

Proses Fermentasi	Kelebihan	Kekurangan
<i>Batch</i>	Pengontrolan alat lebih mudah Proses sterilisasi lebih mudah Dapat menghasilkan kadar Bioetanol yang lebih tinggi Resiko kerugian cukup rendah	Pertumbuhan bakteri dan produksi gas metana semakin lama semakin menurun Produktivitas bioetanol yang rendah Waktu fermentasi lama
<i>Continuous</i>	Produktivitas bioetanol relatif lebih tinggi Waktu yang diperlukan relatif singkat	Pengontrolan alat lebih sulit dilakukan Untuk mendapatkan kadar bioetanol yang tinggi membutuhkan waktu tinggal yang lebih lama Mudah terkontaminasi mikroorganisme lain

(Sumber: Rusmana, 2008)

### 2.3.2 Fermentasi Bioetanol

Fermentasi bioetanol juga disebut sebagai fermentasi alkohol, adalah proses biologi di mana gula seperti glukosa, fruktosa, dan sukrosa diubah menjadi energi seluler dan menghasilkan etanol dan karbon dioksida sebagai produk sampingan. Karena proses ini tidak membutuhkan oksigen, melainkan khamir yang melakukannya, maka fermentasi etanol digolongkan sebagai respirasi anaerob. Reaksi yang terjadi pada fermentasi etanol adalah sebagai berikut :



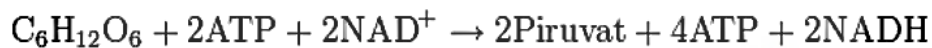
Faktor- faktor yang mempengaruhi fermentasi etanol antara lain adalah :

1. Kondisi fisiologi inokulum meliputi pH, suhu, faktor tumbuh, alkohol.
2. Kualitas substrat pertumbuhan yang terdiri dari sumber karbon, sumber nitrogen, oksigen, dan CO<sub>2</sub> juga berpengaruh terhadap hasil yang diperoleh serta efisiensi fermentasi.
3. Kondisi fisiologi inokulum tergantung pada faktor-faktor lingkungan, adanya mikrobia kontaminan akan sangat berpengaruh terhadap produk metabolit yang dihasilkan dan menghambat proses fermentasi (Najafpour et al., 2004).

Untuk fermentasi etanol, mikroba membutuhkan media dengan suasana pH yang optimal. pengaturan pH dapat dilakukan dengan penambahan asam sulfat jika substratnya alkalis atau dengan natrium bikarbonat jika substratnya asam Waluyo (2004). Menjelaskan, nilai pH medium sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan mikrobia tersebut maksimum sekitar pH 6,5-7,5 dan pH dibawah 4,0 atau diatas 8,5 bakteri tidak dapat tumbuh dengan baik kecuali bakteri asam asetat. (Garrity,2005).

### 2.3.2 *Glikolisis*

*Glikolisis* berasal dari kata glukosa dan lisis (pemecahan), adalah serangkaian reaksi biokimia di mana glukosa dioksidasi menjadi molekul asam piruvat. *Glikolisis* adalah salah satu proses metabolisme yang paling universal yang kita kenal, dan terjadi (dengan berbagai variasi) di banyak jenis sel dalam hampir seluruh bentuk organisme. Proses *glikolisis* sendiri menghasilkan lebih sedikit energi per-molekul glukosa dibandingkan dengan oksidasi aerobik yang sempurna. Energi yang dihasilkan disimpan dalam senyawa organik berupa adenosine triphosphate atau yang lebih umum dikenal dengan istilah ATP dan NADH. Ringkasan reaksi *glikolisis* pada lintasan EMP adalah sebagai berikut:

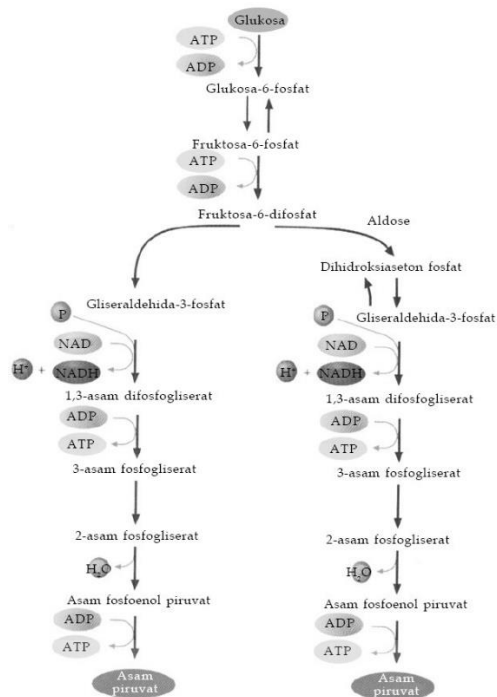


Sedangkan ringkasan reaksi dari *glikolisis*, siklus asam sitrat dan fosforilasi oksidatif adalah:



*Glikolisis* secara mendasar mencakup dua tahap utama. Pada tahap pertama, glukosa difosforilasi baik oleh ATP maupun PEP, tergantung pada organismenya, dan dipecah untuk membentuk gliseraldehid 3-PO<sub>4</sub>. Pada tahap kedua, perantara tiga karbon ini diubah menjadi asam laktat dalam serangkaian reaksi oksidoreduksi yang disalurkan ke fosforilasi ADP. Sebuah mekanisme kemudian terjadi dengan glukosa sebagai sumber energi yang sesungguhnya. Prinsip *glikolisis* secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 2.2:





Gambar 2.2 Prinsip *glikolisis*

### 2.3.4 Peran Mikroorganisme Dalam Fermentasi

Mikroorganisme adalah organisme yang berukuran kecil atau mikroskopis tetapi sangat penting dalam kelangsungan daur hidup dari biota lain dalam biosfir. Mikroorganisme tidak dapat digolongkan ke dalam dunia hewan atau tumbuhan tetapi masuk ke dalam suatu golongan tersendiri yaitu protista. Mikroorganisme merupakan salah satu faktor yang sangat berperan dalam fermentasi bioetanol. Hal ini disebabkan karena mikroorganisme berfungsi sebagai biokatalis. Mikroorganisme yang biasa digunakan dalam proses fermentasi ada 2 jenis, yaitu bakteri dan ragi. Namun dalam hal ini ragi lebih sering digunakan dalam proses fermentasi, karena ragi lebih mudah dikembangbiakkan, lebih mudah dikontrol pertumbuhannya dan dapat menghasilkan bioetanol dengan konsentrasi yang tinggi. Ragi yang sering digunakan dalam proses fermentasi bioetanol adalah *Saccharomyces cerevisiae*. (Judoamidjojo dkk.1989)

### 2.3.4.1 *Saccharomyces cerevisiae*

*Saccharomyces cerevisiae* adalah nama spesies yang termasuk dalam khamir berbentuk oval. *Saccharomyces cerevisiae* berfungsi dalam pembuatan roti dan bir, karena *Saccharomyces* bersifat fermentatif (melakukan fermentasi, yaitu memecah glukosa menjadi karbon dioksida dan alkohol) kuat. Namun, dengan adanya oksigen, *Saccharomyces* juga dapat melakukan respirasi yaitu mengoksidasi gula menjadi karbon dioksida dan air. Secara mikroskopik mikroba *saccharomyces cereviceaie* dapat dilihat pada Gambar 2.3:



**Gambar 2.3** Mikroba *Saccharomyces cerevisiae*

Ragi jenis ini memiliki klasifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 2.6:

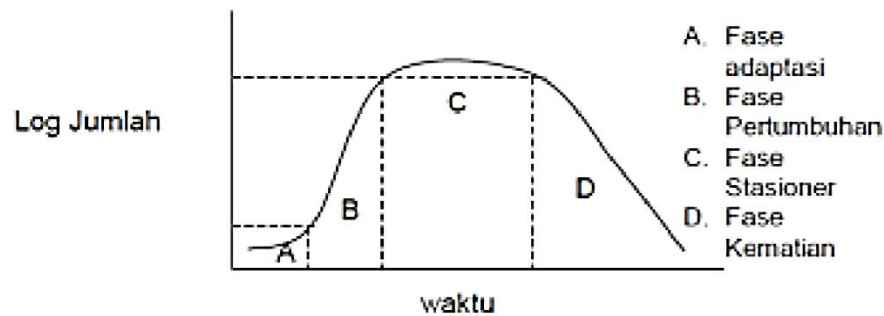
**Tabel 2.6** Klasifikasi *Saccharomyces cerevisiae*

<i>Kingdom</i>	<i>Fungi</i>
<i>Filum</i>	<i>Ascomycota</i>
<i>Kelas</i>	<i>Saccharomycetes</i>
<i>Ordo</i>	<i>Saccharomycetakes</i>
<i>Famili</i>	<i>Saccharomycetaceae</i>
<i>Genus</i>	<i>Sacchromyces</i>
<i>Species</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>

(Sumber: Garrity,2011)

### 2.3.4.1 Kurva Pertumbuhan Mikroorganisme

Mikroorganisme memiliki kurva pertumbuhan yang dapat dilihat pada Gambar 2.4:



**Gambar 2.4** Kurva pertumbuhan mikroorganisme

Ada 4 fase kurva pertumbuhan mikroorganisme, yaitu fase lag, fase log, fase stationer, fase kematian.

#### 1. Fase Lag /Adaptasi .

Jika mikroba dipindahkan ke dalam suatu medium, mula-mula akan mengalami fase adaptasi untuk menyesuaikan dengan kondisi lingkungan di sekitarnya.

Lamanya fase adaptasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya:

##### a. Medium dan Lingkungan Pertumbuhan.

Jika medium dan lingkungan pertumbuhan sama seperti medium dan lingkungan sebelumnya, mungkin tidak diperlukan waktu adaptasi. Tetapi jika nutrient yang tersedia dan kondisi lingkungan yang baru berbeda dengan sebelumnya, diperlukan waktu penyesuaian untuk mensintesa enzim-enzim.

##### b. Jumlah Inokulum

Jumlah awal sel yang semakin tinggi akan mempercepat fase adaptasi. Fase adaptasi mungkin berjalan lambat karena beberapa sebab, misalnya: kultur dipindahkan dari medium yang kaya nutrisi ke medium yang kandungan nutrisinya terbatas, mutan yang baru dipindahkan dari fase statis ke medium baru dengan komposisi sama seperti sebelumnya.

## 2. Fase Log/Pertumbuhan Eksponensial.

Pada fase ini mikroba membelah dengan cepat dan konstan mengikuti kurva logaritmik. Pada fase ini kecepatan pertumbuhan sangat dipengaruhi oleh medium tempat tumbuhnya seperti pH dan kandungan nutrient, juga kondisi lingkungan termasuk suhu dan kelembaban udara. Pada fase ini mikroba membutuhkan energi lebih banyak dari pada fase lainnya. Pada fase ini kultur paling sensitif terhadap keadaan lingkungan. Akhir fase log, kecepatan pertumbuhan populasi menurun dikarenakan nutrisi di dalam medium sudah berkurang serta adanya hasil metabolisme yang mungkin beracun atau dapat menghambat pertumbuhan mikroba.

## 3. Fase Stationer

Pada fase ini jumlah populasi sel tetap karena jumlah sel yang tumbuh sama dengan jumlah sel yang mati. Ukuran sel pada fase ini menjadi lebih kecil karena sel tetap membelah meskipun zat-zat nutrisi sudah habis. Karena kekurangan zat nutrisi, sel kemungkinan mempunyai komposisi yang berbeda dengan sel yang tumbuh pada fase logaritmik. Pada fase ini sel-sel lebih tahan terhadap keadaan ekstrim seperti panas, dingin, radiasi, dan bahan-bahan kimia.

## 4. Fase Kematian

Pada fase ini sebagian populasi mikroba mulai mengalami kematian karena beberapa sebab yaitu, nutrisi di dalam medium sudah habis, energi cadangan di dalam sel habis, kecepatan kematian bergantung pada kondisi nutrisi, lingkungan, dan jenis mikroba.

### **2.4 Immobilized Cell**

*Immobilized cell* adalah teknik penambatan sel di dalam suatu media penambat. *Immobilized cell* atau teknik penambatan sel adalah suatu teknik peningkatan sel bebas pada suatu penambat yang ukurannya lebih besar daripada sel sehingga sel tersebut tidak dapat bergerak. Dengan cara ini *cell* dapat bertahan pada

perubahan kondisi seperti pH dan temperature sehingga berkemungkinan untuk penggunaan sebagai katalis yang terus menerus secara kontinyu juga pada sistem ini memudahkan untuk pemisahan. (Tzeng, J. W, et. Al, 1991)

*Immobilized cell* memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan *free cell*. Dengan menambatkan sel, desain proses menjadi lebih mudah dan sederhana karena sel dilekatkan pada partikel atau permukaan yang lebih besar sehingga mudah dipisahkan dari aliran. Cara penambatan tersebut memastikan proses fermentasi pada fermentor kontinyu tanpa adanya sel yang terbuang. Penambatan sel juga dapat meningkatkan kondisi kondusif diferensiasi sel dan komunikasi antar sel. (Kurniawan, Ronny dkk, 2016)

#### 2.4.1 Metode *Immobilized Cell*

Pada *immobilized cell* ada beberapa teknik diantaranya, *attachment*, *entrapment* dan *aggregation*.

1. *Attachment* adalah istilah yang digunakan untuk segala bentuk imobilisasi di mana sel-sel membentuk mengikat ke substrat solid, baik secara alami (adsorpsi dan adhesi) atau sebagai akibat dari *treatment* permukaan sel dan bahan pendukung. Teknik *attachment* di bagi menjadi beberapa jenis, yaitu: Adsorpsi fisik dan *Covalent Binding*
2. *Entrapment* adalah teknik imobilisasi sel dengan cara penjeratan dimana ini dicapai dengan menggunakan bahan-bahan pendukung dengan struktur berpori mikro-atau makro. Jebakan dari sel-sel ini memancing pertumbuhan alami mereka untuk berkoloni didalam substrat. Jebakan dalam struktur berpori ini bisa terjadi pada tingkat mikroskopis menggunakan partikel mikro seperti keramik, kaca masir, atau silika gel atau di tingkat makro melalui pemanfaatan partikel dengan pori-pori yang relatif besar seperti stainless steel mesh ataupun partikel dukungan biomassa busa reticulated. Teknik *Entrapment* dibagi menjadi

beberapa jenis , yaitu *gellation*, *precipitation*, *ion exchange gelation* dan *polycondensation*.

3. *Aggregation* adalah proses pembentukan flokulasi sel mikroba mengakibatkan pembentukan gumpalan besar merupakan fenomena alam yang dapat diamati pada berbagai jenis mikroorganisme pada beberapa tahap siklus hidup mereka. Polimer di permukaan sel dan zat polimer ekstraseluler merupakan faktor utama dalam pengembangan alami dari gumpalan mikroba dan integritas mereka. Teknik *Aggregation* di bagi menjadi beberapa jenis , yaitu *chemical cross linking*, *containment* dan *microencapsulation*.

#### 2.4.2 Adsorpsi

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan, oleh permukaan zat atau benda penyerap, di mana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dengan penyerapnya. Adsorpsi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu adsorpsi fisika yaitu disebabkan oleh gaya Van Der Waals (penyebab terjadinya kondensasi gas untuk membentuk cairan) yang ada pada permukaan adsorbens dan adsorpsi kimia yaitu terjadi reaksi antara zat yang diserap dengan *adsorben*, banyaknya zat yang teradsorpsi tergantung pada sifat khas zat padatnya yang merupakan fungsi tekanan dan suhu . Metode Adsorpsi yang digunakan adalah jenis adsorpsi fisika , yaitu berdasarkan pada interaksi elektrostatik antara matriks dengan sel mikroba. Pada metode ini suspensi sel dicampurkan dengan media penambatnya. Sel tersebut tertambat pada permukaan medium penambat. Bahan penambat yang digunakan berupa material organik dan anorganik seperti *woodchip*, pasir dan bahan lain dengan stuktur rumit seperti kaca atau gelas . Teknik ini dapat mempertahankan kondisi fisiologis sel , karena bahan penambat bersifat inert dan tidak ada penambahan zat kimia pada proses. (Andi Taufan 2008)

## 2.5 Bioreaktor

Bioreaktor adalah wadah atau tempat berlangsungnya proses fermentasi, dimana mikroorganisme yang merupakan biokatalis mengubah bahan dasar menjadi produk biokimia. Fungsi utama bioreaktor adalah memberikan lingkungan yang terkontrol bagi pertumbuhan mikroorganisme atau campuran tertentu mikroorganisme untuk memperoleh produk yang diinginkan. Kondisi dari mikroorganisme juga menentukan dalam penentuan bioreaktor yang digunakan, seperti kondisi batch, kontinyu, semi batch, semi kontinyu, maka dari itu ada beberapa jenis fermentor. (Suharto, Ign. 1995)

### 2.5.1 Jenis-jenis Bioreaktor

#### 1. *Stirred Tank Bioreactor*

*Stirred Tank Bioreactor* adalah bioreaktor yang dilengkapi *impeller* sehingga terjadi agitasi didalam reaktor. Bioreaktor ini menguntungkan jika aktivitas sel tidak dipengaruhi oleh *inhibitory effects* dari substrat pada konsentrasi tinggi, namun tidak disarankan ketika produk menghambat reaksi.

#### 2. *Fixed Bed Bioreactor*

*Fixed Bed Bioreactor* adalah bioreaktor dimana terdapat substrat padat yang diam dan mengadsorpsi substrat cair yang melaluinya. Kekurangan dari bioreaktor ini adalah lemahnya perpindahan panas dan massa dikarenakan rendahnya laju fluida dan tidak adanya pengadukan.

#### 3. *Fluidized Bed Bioreactor*

*Fluidized Bed Bioreactor* sangat cocok pada pengoperasian dua dan tiga fasa (padat-cair, padat-cair-gas). Biasanya campuran fluida diumpankan ke bagian bawah bioreaktor. Aliran fluida yang diumpankan menuju keatas akan menyebabkan suspensi *immobilized cell* dan ekspansi unggun.

#### 4. *Gas agitated Bioreactor*

Injeksi gas, terutama udara adalah salah satu cara mudah untuk mensirkulasi isi bioreaktor, baik secara internal melalui *draft tube* atau eksternal dengan *extended loop*. Dalam pengoperasiannya gas diumpangkan melalui bawah bioreaktor, mengalir ke atas, dan melepaskan diri dari cairan bagian atas bioreaktor.

#### 5. *Membrane Bioreactor*

*Membrane bioreactor* umumnya sangat kompleks dalam struktur dan desainnya, juga lebih mahal dibandingkan dengan bioreaktor konvensional. Namun bioreaktor ini menghasilkan produk yang terpisahkan dalam konsentrasi yang tinggi.

(Suharto, Ign. 1995)

#### 2.5.2 *Fixed Bed Bioreaktor*

*Fixed Bed* Bioreaktor adalah bioreaktor dimana terdapat substrat padat yang diam dan mengadsorpsi substrat cair yang melaluinya. *Fixed Bed* Bioreaktor beroperasi seperti *plug flow reactor* dimana sangat menguntungkan jika produk yang dihasilkan memiliki efek penghambat yang kuat pada reaksi. Bioreaktor ini menawarkan peningkatan laju reaksi asalkan sepanjang aliran tertentu, konsentrasi substratnya tetap dijaga tinggi, dimana sangat berlawanan dengan *stirred tank bioreactor* yang pada prinsipnya substrat langsung dilarutkan dengan isi dari bioreaktor. Kekurangan dari bioreaktor ini adalah lemahnya perpindahan panas dan massa dikarenakan rendahnya laju fluida dan tidak adanya pengadukan. Selain itu kurangnya kontak antara fasa gas dan fasa cair yang menyebabkan tidak efisiennya perpindahan massa terutama bila berlangsung pada operasi tiga fasa. (Suharto, Ign. 1995)



## 2.6 Kinetika Fermentasi Bioetanol

Pertumbuhan sel dan pembentukan produk oleh mikroorganisme merupakan proses biokonversi dengan nutrisi kimiawi yang diumpungkan pada fermentasi dikonversi menjadi metabolit. Setiap tahap konversi tersebut dapat dikuantitatifkan oleh suatu koefisien hasil yang dinyatakan sebagai massa sel atau produk yang terbentuk persatuan massa sel atau produk yang terbentuk per-unit massa nutrisi yang dikonsumsi yaitu  $Y_{x/s}$  untuk sel dan  $Y_{p/s}$  untuk produk. Hubungan kinetika di antara pertumbuhan dan pembentukan produk tergantung pada peranan produk dalam metabolisme sel. Dua buah kinetika yang umum digunakan adalah kinetika yang menggambarkan sintesis produk selama pertumbuhan, dan kinetika yang menggambarkan sintesis produk selama pertumbuhan terhenti (Said 1987).

Menurut Darwis dan Sunarti (1991) produk-produk yang dihasilkan pada pola pertumbuhan berasosiasi dengan pembentukan produk biasanya merupakan produk-produk langsung dari suatu jalur katabolit seperti pada fermentasi anaerob glukosa menjadi etanol, atau produk-produk tersebut dihasilkan sebagai metabolit-metabolit primer dan hubungannya dengan pertumbuhan dinyatakan dalam persamaan berikut :

Laju pertumbuhan spesifik Peningkatan jumlah biomassa ( $dx$ ) ( $b/v$ ) selama interval waktu yang sangat kecil sebanding dengan jumlah biomassa yang ada dan interval waktu :

$$dx = \mu x dt \quad (2.6)$$

Dengan  $\mu$  adalah laju pertumbuhan spesifik (jam<sup>-1</sup>)

$$X_t = X_0 e^{\mu t} \quad (2.7)$$

Growth Yield etanol / asam asetat

Growth yield ( $Y_{x/s}$ ) didefinisikan sebagai peningkatan jumlah biomassa ( $x$ ) sebagai akibat penggunaan substrat ( $s$ ).

$$Y_{x/s} = - dx ds \quad (2.8)$$

Growth Yield diasumsikan konstan dan dapat berubah jika terlampaui fase pertumbuhan yang berasosiasi dengan fermentasi.

$$Y x s = (x - x_0) (S_0 - S) \quad (2.9)$$

Dengan  $s$  dan  $s_0$  masing-masing adalah substrat akhir dan substrat awal. Product yield

( $Y p/s$ ) dapat dihitung dari persamaan berikut ini :

$$Y P s = (p - p_0) (S_0 - S) \quad (2.10)$$

dengan  $p$  dan  $p_0$  masing-masing adalah konsentrasi produk akhir dan konsentrasi produk awal.

## 2.7 Persamaan Michaelis Menten

Persamaan *Michaelis-Menten* ini menjelaskan bagaimana hubungan konsentrasi substrat dengan laju reaksi. Dalam keadaan sebenarnya, pada makhluk hidup dalam suatu saat tertentu jumlah enzim nisbi tetap, sedangkan jumlah substrat yang diolah berubah-ubah sesuai dengan proses metabolisme. Hubungan antara laju reaksi dan konsentrasi substrat ini sangat penting, karena sebenarnya atas dasar itulah proses metabolisme berjalan dari saat ke saat. Selain itu hubungan antara laju dan konsentrasi substrat ini juga yang menjadi sasaran pengendalian metabolisme. Pengendalian tersebut dapat dilakukan secara buatan dengan menggunakan berbagai senyawa penghambat atau inhibitor dari luar seperti obat, maupun secara alamiah dalam pengendalian laju metabolisme. (Wirahadikusumah, M. 1989).

Adapun persamaan Michaelis Menten, yaitu sebagai berikut:

$$r = \frac{V_m [S]}{K_m + [S]} \quad (2.11)$$

Keterangan:

$V_{maks}$  = kecepatan reaksi maksimum

$[S]$  = konsentrasi substrat

$[KM]$  = konstanta Michaelis-Menten

## 2.8 Hasil Penelitian yang Telah Dilakukan Terkait dengan Fermentasi Bioetanol

Penelitian tentang pembuatan bioetanol sudah banyak dilakukan. Di bawah ini diambil empat contoh hasil penelitian yang sudah dilakukan yang mendekati pada ruang lingkup penelitian yang akan dilakukan. Hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.7:

**Tabel 2.7** Hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan

Keterangan	Hasil Penelitian			
<b>Nama</b>	Rivansyah-Fazri (Itenas,2017)	Firman Sebayang (Universitas Sumatra Utara, 2015)	Nur Herlianti – Risca (2015)	Rosdiana-Liliana-Rika (Universitas Sriwijaya, 2016)
<b>Bahan Baku</b>	Glukosa	Molase	Glukosa	Eceng Gondok
<b>Mikroorganisme</b>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<b>Metode Penambat</b>	<i>Immobilized Cell</i>	<i>Immobilized Cell</i>	<i>Free cell</i>	-
<b>Waktu Fermentasi (jam)</b>	90	36	72	80
<b>Konsentrasi Bioetanol</b>	20,4	12,9387	17,683	67,18
<b>Fermentor</b>	<i>Fixed Bed</i>	<i>Batch</i> sistem teraduk	Tangki berpengaduk dan <i>fluidization bed</i>	<i>Batch</i>

Pada hasil-hasil penelitian yang sudah dilakukan diatas dapat dilihat bahwa penelitian yang menghasilkan konsentrasi bioetanol terbesar adalah pada penelitian Rosdiana-Liliana-Rika (Universitas Sriwijaya, 2016) dengan bahan baku tanaman eceng gondok menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae* dengan waktu fermentasi 80 jam didalam fermentor *batch* yang menghasilkan konsentrasi bioetanol sebesar 67,18%. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman eceng gondok memiliki kandungan selulosa yang tinggi yang dapat dikonversi menjadi bioetanol dengan cara fermentasi.