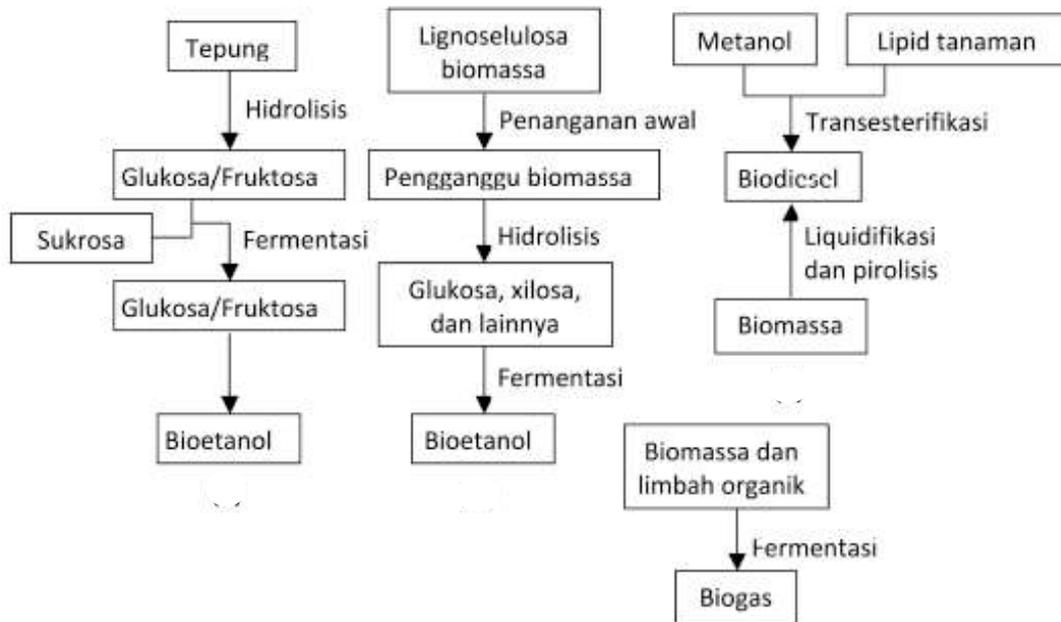


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bioenergi

Bioenergi adalah energi yang diperoleh dari biomassa sebagai fraksi produk biodegradasi, limbah, dan residu dari pertanian (berasal dari nabati dan hewani), industri kehutanan dan terkait, dan sebagian kecil biodegradasi dari limbah industri dan kota. Bioenergi berperan penting pada pencapaian target dalam menggantikan petroleum didasarkan pada bahan bakar transportasi dengan bahan bakar alternatif dan pereduksian emisi karbondioksida dalam jangka panjang. Salah satu bentuk bioenergi yang terus dikembangkan dewasa ini adalah *biofuel*, yakni sumber energi yang dihasilkan dari biomassa, meliputi biodiesel, bioetanol dan *biooil*. Kelebihan bioenergi, selain bisa diperbaharui, adalah bersifat ramah lingkungan, dapat terurai, mampu mengeliminasi efek rumah kaca, dan kontinuitas bahan bakunya terjamin (Hambali et al., 2007). Adapun alur proses pembuatan *biofuel* dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Alur Proses Pembuatan Biofuel

(Sumber: Sari dan Hadiyanto, 2013)

## 2.2 Bioetanol

Bioetanol adalah etanol yang dihasilkan dari fermentasi glukosa (gula) menggunakan bantuan ragi/yeast terutama jenis *Saccharomyces cerevisiae*. Pemisahan bioetanol selanjutnya dilakukan dengan distilasi (Khaidir et al., 2012). Berdasarkan kadar alkoholnya, etanol dibagi menjadi tiga grade sebagai berikut:

- a. Grade Industri dengan kadar alkohol 90-94%.
- b. Netral dengan kadar alkohol 96-99%, umumnya digunakan untuk minuman keras atau bahan baku farmasi.
- c. Grade bahan bakar dengan kadar alkohol diatas 99,5% (Hambali et al., 2007).

### 2.2.1 Bahan-Bahan yang Dapat Dibuat Etanol

Indonesia mempunyai banyak bahan baku yang dapat digunakan untuk memproduksi etanol. Setidaknya terdapat 60 jenis tanaman di Indonesia yang berpotensi sebagai bahan baku etanol. Bahan baku yang dapat dibuat etanol diantaranya sebaga berikut:

- a. Bahan yang mengandung glukosa

Bahan ini ada pada tetes tebu/molasse, nira aren, nira kelapa, nira tebu, sari buah-buahan dan lain-lain.

- b. Bahan yang mengandung pati/karbohidrat

Bahan ini terdapat pada umbi-umbian seperti sagu, singkong, ketela, gaplek, ubi jalar, talas, ganyong, jagung dan lain-lain.

- c. Bahan yang mengandung selulosa

Selulosa terdapat dalam serat seperti serat kayu, serat tandan kosong kelapa sawit, serat pisang, serat nanas, ampas tebu dan lain-lain (UKM, 2009).

## 2.3 Markisa

Markisa merupakan tumbuhan semak atau pohon yang hidup menahun (perennial) dan bersifat merambat atau menjalar hingga sepanjang 20 meter atau lebih. Batang tanaman berkayu tipis, bersulur, dan memiliki banyak percabangan yang kadang-kadang tumbuh tumpang tindih. Pada stadium muda, cabang tanaman berwarna hijau dan setelah tua berubah menjadi hijau kecokelatan. Daun tanaman sangat rimbun, tumbuh secara bergantian pada batang atau cabang. Tiap helai daun bercapung tiga dan bergerigi, berwarna hijau mengkilap (Rukmana,

2003). Tanaman markisa mempunyai akar tunggang yang dangkal. Akar samping menyerupai serabut dan lunak (Sunarjono, 2008). Buah berbentuk bulat agak lonjong atau oval, berdiameter antara 5,0-5,5 cm dan berasa asam dengan aroma wangi yang kuat. Secara umum, buah markisa terdiri dari 52% kulit buah, 34% daging buah (jus) dan 14% sisanya berupa biji (Yulianggi et al., 2009). Markisa disebut juga *passion fruit*. Nikolai Ivanovich Vavilov, ahli Botani Soviet, memastikan bahwa sentra utama asal tanaman markisa adalah daerah Amerika Selatan, terutama Peru, Ekuador, dan Bolivia (Rukmana, 2003).

Markisa dibudidayakan di dataran tinggi tropis dan subtropis pada ketinggian (elevasi) antara 600 – 1.500 mdpl, dengan curah hujan antara 2.500 mm – 7.000 mm per tahun, suhu udara antara 18°C – 22°C, kelembaman udara (RH) 60% - 90%, dan cukup mendapat penyinaran (tempat terbuka) (Rukmana, 2003). Tanah yang sesuai untuk budidaya tanaman markisa adalah tanah yang subur, gembur, banyak mengandung bahan organik, mempunyai pH 5,5 – 6,5, mempunyai solum tanah cukup dalam, serta memiliki aerasi dan drainase yang baik. Jika tanah tersebut masam, maka perlu ditambahkan kapur pertanian (dolomit). Pada umumnya lokasi yang sesuai untuk tanaman markisa adalah dataran tinggi, sehingga kondisi lahannya banyak yang berlereng. Sebaiknya kemiringan lahan tidak lebih dari 15%, jika lebih harus dibuat terasering untuk memudahkan pemeliharaan tanaman. Tanaman markisa juga sangat peka terhadap tanah yang mudah tergenang dan tanah yang kekurangan air dikarenakan dapat menyebabkan tanaman mudah terserang penyakit busuk akar, dan tanah kering dapat menyebabkan hasil buah yang kurang optimal (Sunarjono, 2008).

### 2.3.1 Klasifikasi Ilmiah

Klasifikasi tanaman markisa adalah sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Subdivisio	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Dicotyledonae</i>
Ordo	: <i>Passiflorae</i>
Famili	: <i>Passifloraceae</i>
Genus	: <i>Passiflora</i>

Spesies : *Passiflora edulis*

### 2.3.2 Kandungan Kulit Markisa

Markisa kaya akan kandungan vitamin dan zat-zat yang dibutuhkan tubuh. Setiap 100 gram markisa mengandung 97 kKal energi; karbohidrat 23,38 g; protein 2,20 g; lemak 0,70 g; riboflavin 0,130 mg; vitamin A 1274 IU; vitamin C 30 mg; vitamin E 0,02 mg; vitamin K 0,7 mg; kalium 348 mg; kalsium 12 mg; tembaga 0,086 mg; besi 1,60 mg; magnesium 29 mg; fosfor 68 mg; selenium 0.6 µg; dan seng 0,10 µg (Ciptasari, 2015).

Kulit markisa merupakan komponen terbanyak dalam buah markisa, yaitu sebesar 52% dari total komposisi buahnya dan belum dimanfaatkan secara maksimal. Selain itu, kandungan lignoselulosa yang tinggi yaitu 64,84% merupakan potensi utama yang dimiliki oleh kulit markisa sebagai bioetanol (Yulianggi et al., 2009). Kulit markisa juga mengandung minyak atsiri dan pektin. Kandungan minyak atsiri sebesar 13-19% dan pektin sebesar 14% (Kurniawati, 2013) juga dapat dimanfaatkan kegunaannya dengan cara mengisolasi terlebih dahulu.

## 2.4 Selulosa dan Hemiselulosa

Selulosa adalah polimer glukosa yang membentuk rantai linier dan dihubungkan oleh ikatan  $\beta$ -1,4 glikosidik. Struktur yang linier menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut. Selulosa tidak mudah didegradasi secara kimia maupun mekanis. Di alam, biasanya selulosa berasosiasi dengan polisakarida lain seperti hemiselulosa atau lignin membentuk kerangka utama dinding sel tumbuhan (Holtzapfle, 1993).

Kebanyakan selulosa berasosiasi dengan lignin sehingga sering disebut sebagai lignoselulosa. Selulosa (30-50%), hemiselulosa (10-20%) dan lignin (20-30%) dihasilkan dari proses fotosintesis. Pada saat yang sama, komponen-komponen utama penyusun tanaman ini diuraikan oleh aktifitas mikroorganisme. Beberapa mikroorganisme mampu menghidrolisis selulosa untuk digunakan sebagai sumber energi, seperti bakteri dan fungi (Enari, 1983).

Selulosa merupakan suatu turunan karbohidrat yang tersusun atas unit-unit glukosa yang dihubungkan dengan ikatan  $\beta$ -1,4-glikosidik. Melalui proses

hidrolisis, selulosa potensial diubah menjadi glukosa yang mempunyai nilai ekonomi tinggi. Pada kulit markisa, kandungan lignoselulosa yang tinggi yaitu 64,84% merupakan potensi utama yang dimiliki oleh kulit markisa sebagai bioetanol (Yulianggi et al., 2009). Selulosa dapat dikonversi menjadi produk-produk bernilai ekonomi yang lebih tinggi seperti glukosa, etanol dan pakan ternak dengan jalan menghidrolisis selulosa dengan bantuan selulase sebagai biokatalisator atau dengan hidrolisis secara asam/basa (Ariestaningtyas, 1991).

Hemiselulosa adalah polisakarida terbanyak setelah selulosa yang ditemukan pada tumbuhan. Hemiselulosa berikatan kuat secara kovalen dan non kovalen dengan lignin dan selulosa. Hemiselulosa banyak ditemukan dalam limbah hasil pertanian. Komponen terbesar hemiselulosa adalah xilan, yang merupakan polimer dari  $\beta(1-4)$ D-xylopiranosa (xilosa) dengan ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida. Rantai xilan bercabang, kompleks dan strukturnya tidak berbentuk kristal, sehingga mudah dimasuki pelarut. Sebagian besar xilan terdiri atas 2-4 heteroglukan (Pastor et al., 2007; Puspaningsih et al., 2007).

## **2.5 Hidrolisis**

Hidrolisis merupakan proses pemecahan polisakarida di dalam biomassa lignoselulosa, yaitu selulosa dan hemiselulosa menjadi monomer gula penyusunnya. Pada hidrolisis sempurna selulosa akan menghasilkan glukosa, sedangkan hemiselulosa menghasilkan beberapa monomer gula pentose (C5) dan heksosa (C6) (Seftian et al., 2012). Hemiselulosa turut terurai menjadi senyawa gula sederhana: glukosa, galaktosa, manosa, heksosa, pentosa, xilosa dan arabinosa (Mosier, 2005).

Hidrolisis dengan asam adalah hidrolisis dengan bantuan asam sebagai katalis. Beberapa asam yang umum digunakan untuk hidrolisis asam antara lain adalah asam sulfat ( $H_2SO_4$ ), asam perklorat, dan HCl. Dalam hidrolisis dengan asam, dibedakan menjadi hidrolisis dengan asam pekat dan hidrolisis dengan asam encer. Hidrolisis dengan asam pekat menghasilkan gula yang tinggi (90% dari hasil teoritik) dibandingkan dengan hidrolisis dengan asam encer, dan dengan demikian akan menghasilkan etanol yang lebih tinggi (Hamelinck et al., 2005). Hidrolisis dengan asam dapat dilakukan pada suhu rendah. Namun demikian,

konsentrasi asam yang digunakan sangat tinggi (30–70%). Proses ini juga sangat korosif karena adanya pengenceran dan pemanasan asam. Proses ini membutuhkan peralatan metal yang mahal atau dibuat secara khusus. Recovery asam juga membutuhkan energi yang besar. Di sisi lain, jika menggunakan asam sulfat, dibutuhkan proses netralisasi yang menghasilkan limbah gypsum/kapur yang sangat banyak. Dampak lingkungan yang kurang baik dari proses ini membatasi penggunaan asam perklorat dalam proses ini. Hidrolisis dengan asam pekat juga membutuhkan biaya investasi dan pemeliharaan yang tinggi, hal ini mengurangi ketertarikan untuk komersialisasi proses ini (Taherzadeh & Karimi, 2007).

Hidrolisis enzimatis yaitu hidrolisis dengan bantuan enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme tertentu. Hidrolisis selulosa secara enzimatis memberi yield etanol sedikit lebih tinggi dibandingkan metode hidrolisis dengan asam (Palmqvist dan Hahn-Hägerdal, 2000). Namun proses enzimatis tersebut merupakan proses yang paling mahal. Proses recycle dan recovery enzim selulose diperlukan untuk menekan tingginya biaya produksi (Iranmahboob et al., 2002; Szczodrak dan Fiedurek, 1996). Ditinjau secara proses, hidrolisis secara enzimatis kurang praktis sehingga tidak cocok untuk skala kecil karena agak sulit diterapkan kepada masyarakat umum, selain itu investasi yang diperlukan besar. Namun bila akan diproduksi dengan skala/industri besar yang mensyaratkan kemurnian tinggi, proses secara enzimatis lebih disarankan (Ciptasari, 2015).

Hidrolisis enzimatis sebelumnya sudah pernah dilakukan dengan menggunakan bahan berupa kulit jeruk. Pada penelitian ini, semakin banyak enzim selulase yang digunakan maka semakin banyak pula gula reduksi yang dihasilkan sehingga etanol yang dihasilkan juga semakin banyak (Ciptasari, 2015).

### 2.5.1 Hidrolisis Enzimatis

Hidrolisis enzimatis yaitu hidrolisis dengan bantuan enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme tertentu. Hidrolisis enzimatis memiliki beberapa keuntungan dibandingkan hidrolisis dengan asam, antara lain: tidak terjadi degradasi gula hasil hidrolisis, kondisi proses yang lebih rendah (suhu rendah), berpotensi memberikan hasil yang tinggi dan biaya pemeliharaan peralatan relatif

rendah karena tidak ada bahan yang korosif. Beberapa kelemahan dari hidrolisis enzimatis antara lain adalah membutuhkan waktu yang lebih lama, dan kerja enzim dihambat oleh produk. Di sisi lain harga enzim saat ini lebih mahal daripada asam sulfat, namun demikian pengembangan terus dilakukan untuk menurunkan biaya dan meningkatkan efisiensi hidrolisis maupun fermentasi (Isroi, 2008). Adapun reaksi hidrolisis yaitu sebagai berikut.



Sumber : Megawati et al., 2009

Dimana  $v$  adalah koefisien stoikiometri

Enzim yang dapat digunakan dalam proses hidrolisis enzimatis diantaranya amilase, protease, pektinase, dan selulase. Setiap enzim memiliki peranan yang berbeda-beda. Enzim amilase membantu dalam memecah amilum menjadi gula sederhana seperti glukosa dan maltosa, enzim protease memecah protein menjadi molekul yang lebih sederhana, enzim pektinase membantu dalam proses degradasi pektin dan enzim selulase membantu memecah selulosa menjadi gula sederhana (Pratama et al., 2013). Setiap enzim memiliki pH optimum yang khas. Menurut penelitian Safaria et al (2013), kondisi optimum pH yang menghasilkan gula terbesar adalah pH 5 untuk enzim selulase. Kondisi pH optimum unit aktivitas enzim selulase berkisar pada pH 4,5-6,5 (Susilawati, 2002). Sedangkan untuk suhu optimum pada enzim amilase adalah 37°C dan pH optimum berkisar antara 6,8–7 (Pratama et al., 2013).

### 2.5.2 Enzim

Enzim adalah biomolekul berupa protein yang berfungsi sebagai katalis dalam suatu reaksi kimia organik. Lebih dari 2000 enzim telah diisolasi, tetapi hanya 14 enzim yang diproduksi secara komersial. Kebanyakan dari enzim ini adalah hidrolase, misalnya amilase, protease, pektinase, dan selulase. Enzim penting lainnya adalah glukosa isomerase dan glukosa oksidase (Eprint, 2006).

Pemanfaatan limbah berlignoselulosa dengan menggunakan jasa mikroorganisme dapat menghasilkan enzim ekstraseluler yang mampu mendegradasi bahan berlignoselulosa menjadi fraksi penyusunnya. Enzim selulase adalah enzim yang bisa mengurai selulosa menjadi gula sederhana yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi etanol. Enzim selulase dapat diproduksi

dari mikroba selulolitik baik fungi maupun bakteri, fungi selulolitik yang biasa digunakan dari jenis *Trichoderma*, *Aspergillus*, dan *Penicillium*. Sedangkan bakteri yang bisa menghasilkan selulase adalah *Pseudomonas*, *Cellulomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Cellovibrio*, dan *Sporosphytophaga* (Lynd et al., 2012). Fungi berfilamen seperti *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger* adalah penghasil enzim selulase secara komersial. Fungi tersebut sangat efisien dalam memproduksi enzim selulase (Eprint, 2006). *Aspergillus niger* memiliki kelebihan dibanding *Trichoderma reesei* dalam memproduksi enzim selulase. Selain *Aspergillus niger* yang lebih sering digunakan, enzim yang dihasilkan *Aspergillus niger* lebih banyak dibanding mikroorganisme lain (Taherzadeh, 2007). Dalam Penelitian ini digunakan *Aspergillus niger* sebagai penghasil enzim selulase.

### 2.5.3 *Aspergillus niger*

*Aspergillus niger* merupakan fungi dari filum *ascomycetes* yang berfilamen, mempunyai bulu dasar berwarna putih atau kuning pada media Agar Dextrosa kentang (PDA) dengan lapisan konidiospora tebal berwarna coklat gelap sampai hitam. *Aspergillus niger* digunakan secara komersil dalam produksi asam sitrat, asam glukonat dan pembuatan beberapa enzim seperti selulase, amilase, pektinase, dan amiloglukosidase. *Aspergillus niger* memerlukan mineral  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ , urea,  $\text{CaCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  untuk menghasilkan enzim selulase (Ciptasari, 2015).

## 2.6 Fermentasi

Fermentasi adalah suatu proses perubahan kimia pada suatu substrat organik melalui aktivitas enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Kata fermentasi berasal dari Bahasa Latin “fervere” yang berarti merebus (*to boil*). Arti kata dari Bahasa Latin tersebut dapat dikaitkan dengan kondisi cairan bergelembung atau mendidih. Keadaan ini disebabkan adanya aktivitas ragi pada ekstraksi buah-buahan atau biji-bijian. Gelembung-gelembung karbondioksida dihasilkan dari katabolisme anaerobik terhadap kandungan gula. (Suprihatin, 2010).

Fermentasi dibagi menjadi 3, yakni:

1. Fermentasi permukaan

2. Sistem fermentasi cair

3. Sistem fermentasi padat (Retno Wijayanto & Tri Wuri Hadayani, 2008)

Dalam fermentasi, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kadar etanol yang dihasilkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses fermentasi adalah sebagai berikut:

a. Waktu Fermentasi

Waktu fermentasi dipengaruhi oleh faktor-faktor yang secara langsung maupun tidak langsung berpengaruh terhadap proses fermentasi. Menurut Sari et al (2008), menyatakan bahwa lama fermentasi yang paling optimal untuk proses pembuatan bioetanol adalah 3 hari. Jika fermentasi dilakukan lebih dari 3 hari, justru kadar alkoholnya berkurang. Berkurangnya kadar alkohol telah dikonversi menjadi senyawa lain, misalnya ester. Akan tetapi, jumlah starter merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap waktu fermentasi.

b. Jumlah Starter (ragi)

Jika jumlah ragi yang digunakan terlalu sedikit maka proses fermentasi akan berjalan lambat, akan tetapi jika jumlah ragi yang digunakan terlalu banyak justru menghambat mikroorganisme yang berperan dalam fermentasi dan mikroorganisme pembusuk akan tumbuh (Astawan dan Mita, 1991).

c. Jenis bahan (Substrat)

Substrat sebagai sumber energi yang diperlukan oleh mikroba pemulai fermentasi untuk mengawali kelangsungan fermentasi. Energi yang dibutuhkan berasal dari karbohidrat, protein lemak, mineral dan zat gizi lainnya yang terdapat dalam substrat. Mikroba dalam fermentasi harus mampu tumbuh pada substrat dan mudah beradaptasi dengan lingkungannya (Astawan dan Mita, 1991).

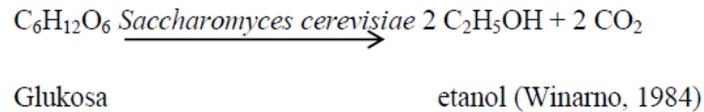
d. Suhu

Suhu selama proses fermentasi sangat menentukan jenis mikroorganisme dominan yang akan tumbuh (Ryandini et al., 2005). Umumnya diperlukan suhu 30°C untuk pertumbuhan mikroorganisme. Bila suhu kurang dari 30°C akan terjadi pertumbuhan mikroorganisme penghasil asam.

e. Oksigen

Menurut Fadiaz (1992), ketersediaan oksigen harus diatur selama proses fermentasi. Hal ini berhubungan dengan sifat mikroorganisme yang digunakan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, fermentasi yang digunakan pada pembuatan bioetanol dari kulit jeruk yaitu fermentasi padat. Fermentasi gula oleh ragi, misalnya *Saccharomyces cerevisiae* dapat menghasilkan etil alkohol (etanol) dan CO<sub>2</sub> melalui reaksi sebagai berikut:



Fermentasi etanol merupakan proses pembuatan alkohol dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme. Untuk fermentasi etanol skala komersial sebagian besar dilakukan oleh khamir, salah satunya *Saccharomyces cerevisiae* sedangkan skala kecil bisa dilakukan oleh bakteri, salah satunya *Zymomonas mobilis* untuk menghasilkan etanol (Yudoamijoyo et al., 1992). *Saccharomyces Cerevisiae* mempunyai kelebihan yaitu lebih cepat pertumbuhan selnya dan mudah menguraikan glukosa, fruktosa, dan sukrosa untuk memproduksi etanol tetapi juga memiliki beberapa kekurangan di antaranya adalah tidak tahan dengan suhu tinggi dan etanol yang dihasilkan *Zymomonas mobilis* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan *Saccharomyces cerevisiae*, diantaranya lebih toleran terhadap suhu, pH rendah, serta tahan terhadap etanol konsentrasi tinggi (Zhang, 2010). Proses fermentasi etanol ini dilakukan secara anaerob, yaitu mengubah glukosa menjadi alkohol tanpa adanya oksigen tetapi dalam pembuatan starter dibutuhkan suasana aerob oksigen diperlukan untuk pembiakan sel (Hikmiyati et al., 2008).

## 2.7 Kinetika Reaksi Enzimatis

### 2.7.1 Metode Michaelis-Mentens

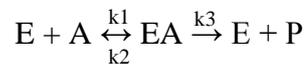
Kinetika reaksi enzimatis pertama kali disusun oleh *Leonor Michaelis* dan *Maud Menthen* untuk reaksi enzimatis substrat tunggal. Reaksi ini terdiri dari satu jenis substrat dan enzim. Dalam hal ini termasuk reaksi enzimatis fermentasi gula menjadi ethanol. Teori kinetika enzimatis ini dikenal sebagai teori kejenuhan (*Saturation Kinetics*) yang disusun berdasarkan asumsi – asumsi sebagai berikut:

1. Jumlah atau konsentrasi substrat sangat besar bila dibandingkan dengan konsentrasi enzim sehingga seluruh permukaan aktif enzim akan tertutup

substrat. Jadi reaksi enzimatik ini dikondisikan mengikuti reaksi orde satu semua.

2. Reaksi antara enzim dan substrat adalah reaksi kesetimbangan (equilibrium).
3. Ikatan kompleks selalu berurai semuanya menjadi produk.

Enzim merupakan protein yang mengkatalis reaksi biokimia yang secara kolektif membentuk metabolisme perantara. Persamaan Michaelis-Menten yaitu hubungan kuantitatif antara laju reaksi enzim dan konsentrasi substrat. Menurut Leonor Michaelis dan Maud Menten, penggabungan enzim (E) dengan substrat (A) merupakan reaksi yang dapat balik dan berlangsung relatif cepat membentuk kompleks enzim-substrat (EA). Selanjutnya terurai dan membentuk produk reaksi (P) dan enzim bebas (E) (Palmer, 1985).



Pada proses fermentasi, enzim biasanya digunakan sebagai katalis, reaktan A bereaksi membentuk produk R dimana rumus kinetika reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$-r_A = r_R = k \frac{C_{E0} \times C_A}{C_M + C_A} \quad (2.1)$$

Dimana :  $r_A$  = kecepatan reaktan

$r_R$  = kecepatan produk

$k$  = konstanta kecepatan reaksi

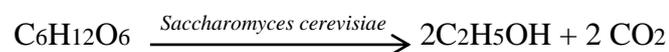
$C_{E0}$  = konsentrasi enzim

$C_A$  = konsentrasi gula

$C_{A0}$  = konsentrasi gula

$C_M$  = konstanta Michaelis Menten

Dalam fermentasi etanol dan glukosa dengan rumus kimia :



Sehingga Persamaan (2.1) menjadi :

$$-r_A = \frac{r_R}{2} = k \frac{C_{E0} \times C_A}{C_M + C_A} \quad (2.2)$$

Konsentrasi enzim sulit diukur, sehingga nilai  $k \cdot C_{E0} \approx k'$ . Oleh karena itu, dalam perhitungannya nilai  $k'$  akan berbeda-beda menurut volume enzimnya. Sehingga Persamaan (2.2) menjadi :

$$-r_A = \frac{r_R}{2} = k' \frac{C_A}{C_M + C_A} \quad (2.3)$$

Untuk sistem, integrasi menggunakan Persamaan Michaelis dan Menten yaitu:

$$C_M \ln \frac{C_{A0}}{C_A} + (C_{A0} - C_A) = k't \quad (2.4)$$

-----  
 First-order term    zero-order term

Persamaan ini tidak bisa diplot secara langsung untuk mendapatkan konstanta k3 dan Cm. Dengan memanipulasi persamaan, kita akan menemukan bentuk persamaan yang akan diplotkan. Dapat dilihat pada Persamaan 2.5.

$$\frac{C_{A0}-C_A}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}} = -C_M + k' \cdot \frac{t}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}} \quad (2.5)$$

### 2.7.2 Metode *Pseudo-Homogen*

#### a. Metode *Pseudo-Homogen* Orde Satu

Metode yang digunakan pada penentuan model kinetika adalah metode integralistik data. Kinetika reaksi orde satu merupakan langkah awal untuk menentukan permodelan pada penelitian ini. Berikut merupakan metode yang diajukan mengikuti persamaan model pseudo-homogen orde satu dinyatakan dalam Persamaan (2.6) di bawah ini :

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A \quad (2.6)$$

Bila Persamaan (2.6) diintegrasikan, maka persamaannya menjadi Persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = k \int_0^t dt \quad (2.7)$$

dengan penyelesaian diferensial, maka Persamaan (2.7) menjadi Persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$-\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = kt \quad (2.8)$$

dengan  $C_A$  adalah konsentrasi gula dalam selulosa (mol/L),  $C_{A0}$  adalah konsentrasi gula awal dalam selulosa (mol/L),  $t$  adalah waktu reaksi (jam),  $r_A$  adalah laju reaksi selulosa (mol/L.jam), dan  $k$  adalah konstanta kecepatan reaksi (1/jam). Persamaan (2.8) merupakan persamaan linear, sehingga besarnya nilai  $k$  untuk reaksi orde satu dapat dilihat dari kemiringan (*slope*) dari persamaan linear hasil plotasi antara  $-\ln \frac{C_A}{C_{A0}}$  sebagai sumbu y dan waktu (Jam) sebagai sumbu x.

b. Metode *Pseudo-Homogen* Orde Dua

Model selanjutnya yang diajukan adalah model kinetika reaksi orde dua. Persamaan (2.9) berikut merupakan model kinetika reaksi pseudo-homogen orde dua.

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A^2 \quad (2.9)$$

Bila Persamaan (2.9) diintegrasikan, maka persamaannya menjadi Persamaan (2.10) sebagai berikut:

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = \frac{1}{C_{A0}} \cdot \frac{X_A}{1-X_A} = kt \quad (2.10)$$

dengan  $C_A$  merupakan konsentrasi gula dalam selulosa (mol/L),  $t$  merupakan waktu reaksi (jam),  $X_A$  adalah konversi reaksi,  $k$  adalah konstanta kecepatan reaksi (L/mol.jam). Persamaan (2.10) merupakan persamaan linear, sehingga besarnya nilai  $k$  untuk reaksi orde satu dapat dilihat dari kemiringan (*slope*) dan besarnya nilai  $\frac{1}{C_{A0}}$  ditentukan dari *intercept* dari persamaan linear hasil plotasi antara  $\frac{1}{C_A}$  sebagai sumbu  $y$  dan waktu (jam) sebagai sumbu  $x$ .