

# Pengaruh Konsentrasi *Saccharomyces cerevisiae* Terhadap Biokonversi Pelepah Sawit Menjadi Bioetanol

Meliana Dewi<sup>1)</sup>, Adrianto Ahmad<sup>2)</sup>, Sri Rezeki Muria<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, <sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Kimia

Laboratorium Teknologi Bioproses

Program Studi Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Binawidya Jl. HR Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

Email: [adri@unri.ac.id](mailto:adri@unri.ac.id)

## ABSTRACT

*Oil palm is one of the plantation commodities that have important role in economic activity in Indonesia. With a total area of 11.30 million hectares and oil palm plantations produce more than 75 million tons of palm oil waste per year and palm oil has a calorific value of 3350 kcal/kg, oil palm has the potential to contribute alternative energy from the resulting biomass. In addition to being utilized as an environmentally friendly renewable energy source, conversion of palm oil to bioethanol also helps to reduce untapped waste. Producing bioethanol from oil palm frond can be done through fermentation process. Factors that affect the fermentation process one of them is the number of cells of microorganisms. The microorganism used in this study is *Saccharomyces cerevisiae*. The purpose of this study was to determine the effect of *Saccharomyces cerevisiae* concentration on fermentation process on bioethanol produced and determine the best time of fermentation to bioethanol conversion from oil palm frond. The conversion of oil palm frond into bioethanol includes of delignification of oil palm frond by using KOH solution obtained from empty fruit bunches ash extract, purification of oil palm frond using 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solution, hydrolysis of cellulose using 1% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> with 100°C for 60 minutes, and fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* with different concentration of *Saccharomyces cerevisiae* 4 g/L, 6 g/L, 8 g/L, and 10 g/L. The maximum sugar concentration produced by the hydrolysis process was 117.55 g/L. The best bioethanol content was obtained at 3.29% (v/v) or 25.97 g/L at *Saccharomyces cerevisiae* 8 g/L concentration and 96 hours fermentation time.*

**Keywords:** Bioethanol, Fermentation, Oil Palm Frond, *Saccharomyces cerevisiae*

## 1. Pendahuluan

Banyaknya jumlah kebutuhan dan energi fosil yang eksploitasi tidak lagi seimbang dengan jumlah cadangan energi fosil yang tersedia mengakibatkan meningkatnya harga bahan bakar minyak. Energi terbarukan yang dijadikan solusi untuk permasalahan tersebut juga masih belum optimal pengembangannya. Oleh karena itu, perlu dilakukan dorongan terhadap teknologi energi terbarukan. seperti konversi bioetanol dari biomassa. Bioetanol merupakan bahan bakar dari tumbuhan yang memiliki sifat menyerupai minyak premium (Muin dkk., 2007). Bahan baku pembuatan bioetanol selama ini lebih banyak bersumber dari tanaman yang

mengandung pati, seperti singkong, jagung dan sagu. Padahal tanaman tersebut mempunyai nilai guna lain yang lebih ekonomis, yaitu sebagai bahan pangan. Jika tanaman tersebut digunakan sebagai bahan baku dalam produksi bioetanol secara komersial maka akan menimbulkan persaingan antara bahan pangan dan energi. Salah satu bahan yang potensial untuk dijadikan bahan baku bioetanol adalah biomassa dari kelapa sawit, seperti pelepah sawit.

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan yang mempunyai peran yang cukup penting dalam kegiatan perekonomian di Indonesia. Indonesia merupakan salah satu negara produsen dan

eksportir kelapa sawit terbesar di dunia. Dengan luas areal perkebunan sebesar 11,30 juta hektar pada tahun 2015 (Badan Pusat Statistik, 2015) dan perkebunan kelapa sawit menghasilkan 40-50 pelepah/pohon/tahun (Simanihuruk dkk., 2008), kelapa sawit memiliki potensi untuk menyumbangkan energi alternatif dari biomassa yang dihasilkan.

Pelepah sawit mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin, sehingga layak digunakan sebagai bahan bakar. Komponen kimia penyusun pelepah sawit dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

**Tabel 1** Komponen Kimia Pelepah Sawit

Komponen Kimia	Komposisi (%)
Selulosa	35,88
Hemiselulosa	26,47
Lignin	18,90
Zat ekstraktif	9,05
Air	9,70

(Sumber: Putri dkk., 2013)

Selulosa adalah komponen utama kayu, kira-kira 40-50% kayu kering. Selulosa merupakan homopolisakarida yang tersusun atas unit-unit  $\beta$ -D-glukopiranosida yang terikat satu sama lain dengan ikatan  $\beta$ -(1,4)-glikosida. Sebagai struktur yang berserat dan ikatan-ikatan hidrogen yang kuat, selulosa mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan tidak larut dalam kebanyakan pelarut. Selulosa akan larut dalam larutan asam mineral dengan konsentrasi tinggi (akibat hidrolisis), dan jika hidrolisisnya belum berlangsung terlalu jauh maka selulosa dapat diendapkan kembali membentuk fragmen-fragmen padatan polimer dengan berat molekul yang lebih kecil melalui pengenceran larutan dalam asam kuat tersebut dan air (Ibrahim, 1998).

*Pretreatment* merupakan kombinasi dari banyak proses. *Pretreatment* bisa berupa pengecilan ukuran diikuti dengan perlakuan kimia, biologi atau fisika. Secara umum, lignoselulosa tersusun oleh lignin, hemiselulosa dan selulosa. Tujuan dari *pretreatment* adalah untuk menghancurkan struktur selulosa pada dinding sel biomassa dan membuat selulosa lebih mudah diambil

ketika dihidrolisis (pada proses hidrolisis, selulosa dipecah menjadi gula yang lebih sederhana) (Tong dkk., 2013).

Proses delignifikasi dapat dilakukan secara fisika melalui proses mekanik dan pirolisis, proses fisika-kimia (*steam explosion*, *liquid hot water*, *CO<sub>2</sub> explosion* dan *ammonia fiber explosion*), dan kimia (alkali, larutan asam dan organik) (Octavia dkk., 2011). Larutan NaOH merupakan salah satu larutan alkali yang dapat digunakan sebagai pelarut dalam proses delignifikasi. Abu tandan kosong sawit terdiri atas kalium (K), silika (SiO<sub>2</sub>), dan karbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) yang tinggi dibanding unsur lainnya yang ada didalam abu TKS. Kadar kalium dalam abu TKS sebesar 25,68%, dan unsur kalium yang ada di dalam abu TKS dapat dijadikan sebagai pengganti NaOH, yaitu pelarut yang biasa digunakan untuk pembuatan *pulp*.

Delignifikasi merupakan suatu proses pembebasan lignin dari suatu senyawa kompleks. Proses ini penting dilakukan sebelum hidrolisis bahan selulotik, sebab lignin dapat menghambat penetrasi asam atau enzim sebelum hidrolisis berlangsung. (Gunam dkk., 2011).

Hidrolisis selulosa merupakan proses pemutusan ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida pada selulosa. Proses hidrolisis ini merupakan proses penting untuk menghasilkan etanol yang dapat dibuat dari fermentasi glukosa yang diperoleh dari hasil hidrolisis selulosa. Proses hidrolisis selulosa dapat dilakukan dengan metode hidrolisis asam, basa, dan enzim. Fermentasi alkohol merupakan proses pembuatan alkohol dengan memanfaatkan aktivitas *yeast*. Proses fermentasi adalah anaerob, yaitu mengubah glukosa menjadi alkohol tanpa oksigen, tetapi dalam pembuatan starter dibutuhkan suasana aerob dimana oksigen diperlukan untuk pembiakan sel (Eka dan Halim, 2009).

Faktor-faktor yang mempengaruhi fermentasi antara lain sebagai berikut.

a. Tingkat Keasaman (pH)

Berdasarkan rentang pH-nya, mikroba diklasifikasikan menjadi tiga kelompok,

yaitu asidofilik (pH 0 – 2), netrofilik (pH 2 – 7), dan alkalofilik (pH 7 – 12) (Rahayu dan Nurwitri, 2012). Fermentasi pada pH 4,5 menghasilkan konsentrasi bioetanol yang tertinggi. Hal ini terjadi karena pada pH 4,5 adaptasi *yeast* lebih rendah dan aktivitas fermentasinya juga meningkat, serta berpengaruh pada pembentukan produk samping, dimana pada pH tinggi konsentrasi gliserol meningkat (Yenti, 2013).

#### b. Suhu

Pada proses fermentasi, suhu berpengaruh terhadap aktivitas enzim *yeast* dan berpengaruh juga terhadap hasil alkoholnya, hal ini dikarenakan adanya penguapan. Kecepatan fermentasi akan bertambah sesuai dengan suhu optimumnya yang umumnya berkisar antara 25 – 30°C (Awaltanova, 2015).

#### c. Oksigen

Setiap mikroba membutuhkan oksigen yang berbeda jumlahnya untuk pertumbuhan atau membentuk sel-sel baru dan untuk fermentasi. Mikroba diklasifikasikan menjadi tiga kelompok menurut keperluan oksigennya, yaitu aerob obligat, aerob fakultatif, dan anaerob fakultatif. Berdasarkan klasifikasi tersebut, *Saccharomyces cerevisiae* termasuk kelompok mikroorganisme anaerob fakultatif (Gaman dan Sherrington, 1981).

#### d. Waktu Fermentasi

Lama fermentasi pada proses produksi Semakin lama waktu fermentasi maka semakin tinggi kadar bioetanol yang dihasilkan. Jika bioetanol yang terkandung didalam substrat tinggi maka hal ini justru akan berpengaruh buruk terhadap pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae*. Karena pada kadar alkohol 2,5% pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* akan terhambat. Hanya *Saccharomyces cerevisiae* strain tertentu saja yang dapat bertahan pada kadar alkohol 2,5-5% (Azizah dkk., 2012).

#### e. Jenis Mikroba

Ada beberapa jenis mikroorganisme yang yang digunakan dalam proses fermentasi, diantaranya yaitu kapang,

bakteri dan khamir. Namun tidak semuanya itu dapat digunakan secara langsung, sehingga dibutuhkan seleksi untuk mendapatkan mikroorganisme yang nantinya dapat tumbuh dengan cepat dan baik pada konsentrasi gula yang tinggi. Seleksi mikroba biasanya didasarkan pada jenis substrat yang digunakan sebagai mediumnya (Irawan dan Arifin, 2012).

#### f. Nutrisi

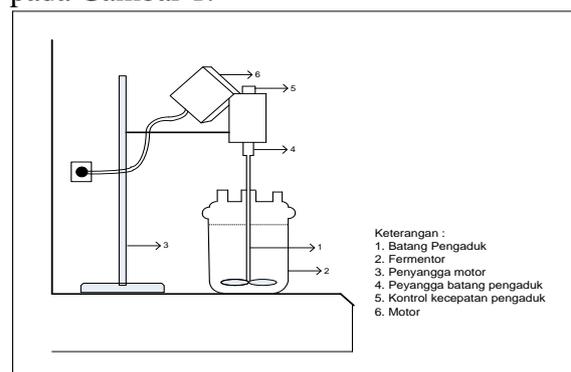
Sumber energi utama adalah karbon yang sering dijumpai seperti CO<sub>2</sub>, CO, metana, senyawa organik seperti karbohidrat dari yang kompleks sampai yang sederhana, seperti glukosa, asetat, piruvat, malat, serta berbagai senyawa organaik kompleks (Rahayu dan Nurwitri, 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bioetanol dengan bahan baku dari limbah perkebunan kelapa sawit yaitu pelepah sawit sebagai sumber energi alternatif untuk menghasilkan bioetanol dengan menggunakan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* (SHF).

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah bioreaktor, *autoclave*, *shaker*, labu didih leher tiga, *water bath*, *rotary evaporator*, oven, mantel pemanas, erlenmeyer, gelas ukur, kondensor, cawan penguap, tabung reaksi, termometer, pH meter, neraca analitik, kapas, ayakan 40 mesh dan 80 mesh, serta *vortex mixer*, spektrofotometer UV-Vis, alkoholmeter, dan *gas chromatography* (GC). Rangkaian alat untuk proses fermentasi dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1** Rangkaian Alat Fermentasi

## 2.2 Bahan yang Digunakan

Bahan baku utama yang digunakan pada penelitian ini adalah pelepah sawit. Bahan lainnya yang digunakan adalah abu tandan kosong sawit (TKS),  $H_2O_2$ ,  $H_2SO_4$ , NaOH, *Saccharomyces cerevisiae*,  $KH_2PO_4$ ,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $(NH_4)_2SO_4$  dan antron.

## 2.3 Variabel Penelitian

Variabel tetap pada penelitian ini adalah volume fermentasi 2 liter (Akbar, 2015), waktu inokulasi 24 jam (Amalia, 2014), suhu fermentasi 30°C (Lin dkk., 2012), pH fermentasi 4,5 (Fitriani dkk., 2013), kecepatan pengadukan 250 rpm (Akbar, 2015), volume inokulum 10% (v/v) (Kusumaningati dkk., 2013). Variabel berubah pada penelitian ini yaitu berat *Saccharomyces cerevisiae* (4 g/L, 6 g/L, 8 g/L dan 10 g/L) dan waktu fermentasi (24 jam, 48, jam, 72 jam, 96 jam, dan 120 jam).

## 2.4 Rancangan Percobaan

Secara garis besar tahapan penelitian ini terdiri atas empat tahap. Tahap pertama ialah persiapan bahan baku dari pelepah sawit menjadi serbuk pelepah sawit yang siap dihidrolisis. Tahap kedua yaitu menghidrolisis selulosa yang ada dalam pelepah sawit menjadi larutan gula menggunakan senyawa kimia ( $H_2SO_4$  1%) dan menganalisa kadar gula awal, kemudian dilanjutkan ketahap ketiga, yaitu mengubah larutan gula menjadi bioetanol dengan cara fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. Tahap keempat yaitu melakukan analisa hasil berupa kadar gula sisa, kadar bioetanol, dan berat kering sel.

## 2.5 Prosedur Penelitian

### 2.5.1 Pretreatment Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah pelepah sawit. Sebelum dimasak, pelepah sawit harus dibersihkan dari daunnya, kemudian pelepah dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil. Bahan baku dikeringkan dibawah sinar matahari sampai kadar air yang tersisa  $\pm 10\%$ . Pelepah sawit selanjutnya dihaluskan dan diayak untuk mendapatkan partikel 40 mesh (Irfanto, 2013).

### 2.5.2 Pembuatan Larutan Pemasak dari Ekstrak Abu TKS

Larutan Pemasak yang digunakan adalah campuran antara akuades dengan abu TKS. Sebelum digunakan, abu TKS disaring terlebih dahulu menggunakan saringan berukuran 60 mesh. Abu yang telah disaring kemudian ditambahkan air dengan perbandingan massa abu dan air 1:4. Larutan tersebut selanjutnya diaduk selama 15 menit setelah itu didiamkan selama 48 jam hingga semua abu terendapkan. Filtrat abu TKS dipisahkan dari padatan dengan penyaringan. Filtrat ekstrak abu TKS tersebut digunakan sebagai larutan pemasak (Irfanto, 2013).

### 2.5.3 Delignifikasi Pelepah Sawit

Delignifikasi terdiri dari dua tahap, yaitu prehidrolisa dan *cooking*. Prehidrolisa bertujuan untuk mempercepat penghilangan pentosan (hemiselulosa) dalam bahan baku pada waktu pemasakan. Prehidrolisa dilakukan menggunakan larutan ekstrak abu TKS. Temperatur pada saat prehidrolisa adalah 100°C, nisbah berat bahan baku terhadap volume larutan 1:10, dengan waktu prehidrolisa selama 1 jam. Setelah prehidrolisa selesai, filtratnya dibuang dan residu dicuci dengan air panas dan diperas, kemudian *pulp* pelepah tersebut dimasak kembali (proses *cooking*).

Proses *cooking* bertujuan untuk memurnikan selulosa- $\alpha$  yang terdapat dalam *pulp* pelepah sawit. *Cooking* dilakukan dengan larutan ekstrak abu TKS. Kondisi operasi *cooking* adalah temperatur 100°C, waktu pemasakan 30 menit, dan nisbah padatan terhadap larutan 1:5. *Pulp* pelepah hasil pemasakan disaring dan dicuci dengan air panas untuk menghilangkan lindi hitam dan dikeringkan hingga beratnya konstan (Irfanto, 2013).

### 2.5.4 Proses Bleaching Serbuk Pelepah Sawit

Serbuk pelepah yang telah selesai didelignifikasi kemudian di-*bleaching* menggunakan larutan  $H_2O_2$  3% dengan perbandingan serbuk pelepah dan  $H_2O_2$  adalah 1:10. Kemudian ditambahkan NaOH 0,1 N sampai pH 9 (Saragih, 2013).

Selanjutnya serbuk pelepah dipanaskan dengan temperatur 90°C selama 60 menit. Setelah proses pemurnian, *pulp* pelepah sawit didinginkan, disaring dan dicuci sampai pH netral dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 105°C hingga beratnya konstan (Irfanto, 2013).

#### 2.5.5 Hidrolisis Serbuk Pelepah Sawit

Serbuk pelepah dari proses pemurnian selulosa (*bleaching*) dikecilkan ukurannya menjadi 80 mesh dan selanjutnya dihidrolisis menggunakan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 1% dengan perbandingan padatan dan asam 1:10 pada suhu 100°C selama 60 menit. Dalam proses hidrolisis diperoleh ampas dan larutan. Larutan tersebut adalah larutan yang mengandung gula hasil konversi dari serbuk pelepah sawit. Larutan glukosa selanjutnya dinetralkan dengan NaOH 1 M hingga pH-nya 4,5 (Fitriani dkk., 2013). Filtrat yang diperoleh dari proses hidrolisis akan dianalisa kadar gula yang terkandung dalam larutan tersebut dan difermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*.

#### 2.5.6 Pembuatan Inokulum

Pembuatan inokulum bertujuan untuk memperpendek fase lag yaitu dengan cara mengadaptasikan sel kedalam media fermentasi berupa larutan gula hasil hidrolisis. *Saccharomyces cerevisiae* dari ragi kemasan diinokulasi kedalam medium (larutan gula hasil hidrolisis, 1 gr/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,05 gr/L MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O dan 2 gr/L (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan dimasukkan kedalam erlenmeyer. Medium inokulum disterilisasi kedalam *autoclave* dengan temperatur 121°C selama 15 menit, setelah itu medium inokulasi didinginkan hingga mencapai temperatur ruang. Setelah temperatur medium inokulasi mencapai temperatur ruang, *Saccharomyces cerevisiae* dimasukkan dengan variasi 4 g/L, 6 g/L, 8 g/L dan 10 g/L, lalu diinokulasikan selama 24 jam pada suhu 30°C didalam inkubator (Amalia, 2014).

#### 2.5.7 Fermentasi

Proses fermentasi ini dilakukan dengan cara fermentasi cair. Larutan gula yang diperoleh dari proses hidrolisis

difermentasi oleh *Saccharomyces cerevisiae* dengan volume fermentasi yang digunakan adalah sebanyak 2 L. Medium fermentasi (larutan gula) dimasukkan kedalam fermentor sesuai dengan variasi, kemudian ditambahkan nutrisi (1 gr/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,05 gr/L MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O dan 2 gr/L (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), setelah itu medium fermentasi yang terdapat didalam reaktor 2 L ditutup rapat, lalu disterilisasi menggunakan *autoclave* pada temperatur 121°C selama 15 menit. Medium fermentasi di fermentasikan dengan kecepatan pengadukan diatur 250 rpm. Suhu fermentasi dijaga 30°C. Pengambilan sampel dilakukan pada waktu fermentasi 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam, dan 120 jam. Setelah waktu fermentasi tercapai, sampel hasil fermentasi dianalisa kadar glukosa sisa dan bioetanol yang dihasilkan.

#### 2.5.8 Pemisahan

Hasil fermentasi yang didapat kemudian diambil 120 ml dengan 20 ml untuk dianalisa kadar gula sisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan 100 ml campuran bioetanol yang berada di dalam substrat hasil fermentasi dipisahkan dari mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*, nutrisi dan larutan gula sisa, dengan cara menguapkan campuran bioetanol dan air pada suhu 77-80°C dengan menggunakan *rotary evaporator*, kemudian bioetanol yang terdapat di dalam campuran bioetanol dan air di analisa menggunakan alkoholmeter.

#### 2.5.9 Analisa Hasil

Pada penelitian ini parameter yang dianalisa yaitu konsentrasi bioetanol, konsentrasi gula substrat, dan berat sel kering. Konsentrasi gula substrat berupa kadar gula awal dan kadar gula akhir dianalisa dengan metode antron menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Untuk pengukuran kadar bioetanol akan dianalisa dengan menggunakan alkoholmeter dan *gas chromatography*. Pengukuran berat sel kering dilakukan dengan menggunakan kertas saring.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hidrolisis Selulosa pada Serbuk Pelepah Sawit

Bahan baku utama pada penelitian ini adalah pelepah sawit. Sebelum digunakan sebagai substrat fermentasi, pelepah sawit perlu di hidrolisis. Pada dasarnya prinsip hidrolisis adalah memutuskan rantai polimer bahan menjadi unit-unit monomer yang lebih sederhana dengan bantuan katalis. Tabel 2 berikut merupakan konsentrasi larutan gula awal pada masing-masing proses hidrolisis.

**Tabel 2** Konsentrasi Larutan Gula Hasil Hidrolisis Asam

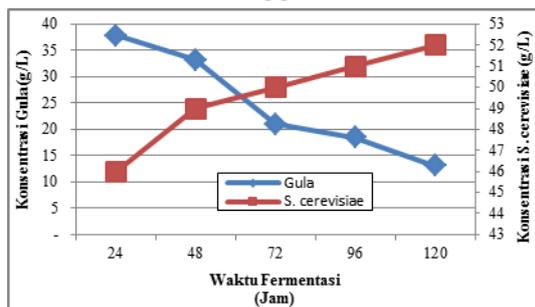
Hidrolisis Ke-	Konsentrasi (g/L)
1	116,34
2	114,10
3	117,55
4	115,48

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa konsentrasi gula yang digunakan sebagai substrat pada penelitian ini tidak jauh berbeda. Proses hidrolisis selulosa yang terdapat serbuk pelepah sawit pada penelitian ini menggunakan larutan asam sulfat encer. Menurut Broto dan Kardono (2010), hidrolisis menggunakan asam sulfat

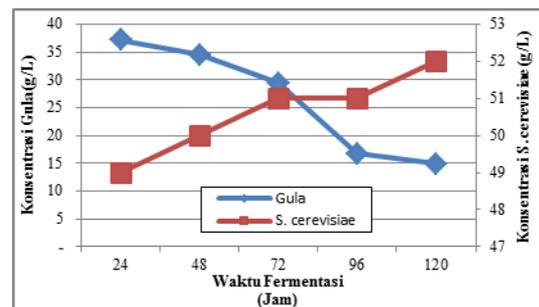
memberikan hasil yang lebih tinggi jika dibandingkan hidrolisis menggunakan asam klorida. Selain itu Idrak dkk. (2012) juga melakukan penelitian tentang variasi asam untuk menghidrolisis ampas sagu, asam yang digunakan adalah asam klorida dan asam sulfat, dari hasil yang didapatkan, asam sulfat menghasilkan kadar gula yang lebih tinggi dibanding dengan asam klorida.

#### 3.2 Pengaruh Konsentrasi Gula Terhadap Berat Kering Sel

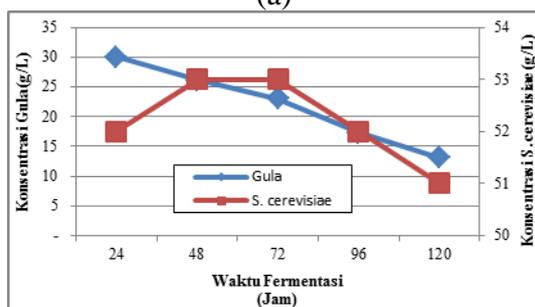
Larutan gula hasil dari proses hidrolisis pada penelitian ini digunakan sebagai substrat fermentasi oleh *S. cerevisiae* untuk memperbanyak sel serta menghasilkan bioetanol. Penurunan konsentrasi gula oleh mikroba seperti ditampilkan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa konsentrasi gula dalam substrat fermentasi menurun sepanjang waktu selama proses fermentasi berlangsung. Pada variasi konsentrasi *S. cerevisiae* 4 g/L dan 6 g/L terlihat bahwa penurunan konsentrasi gula berbanding terbalik dengan jumlah sel yang meningkat sepanjang waktu. Hal tersebut dikarenakan pada variasi 4 g/L dan 6 g/L, jumlah sel yang terdapat pada medium fermentasi



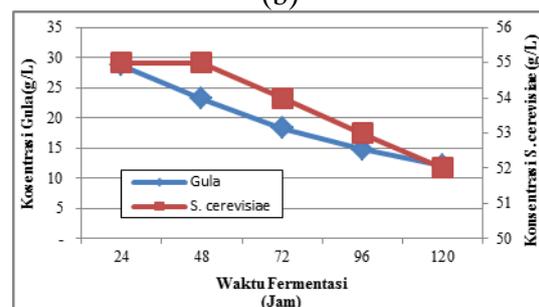
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 2** Hubungan Antara Penurunan Konsentrasi Gula dengan Konsentrasi Berat Kering Sel pada Variasi Konsentrasi *Saccharomyces cerevisiae* (a) 4 g/L, (b) 6 g/L, (c) 8 g/L, dan (d) 10 g/L

masih menggunakan substrat untuk memperbanyak dirinya. Pada fase ini, jumlah mikroba berkembang biak dengan cepat. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Wahono dkk. (2011), yang menyatakan bahwa bahwa waktu kerja optimal *S. cerevisiae* (khamir) adalah pada jam ke-24 sampai jam ke-72. Pada fase ini mikroba merombak substrat menjadi nutrisi untuk pertumbuhannya.

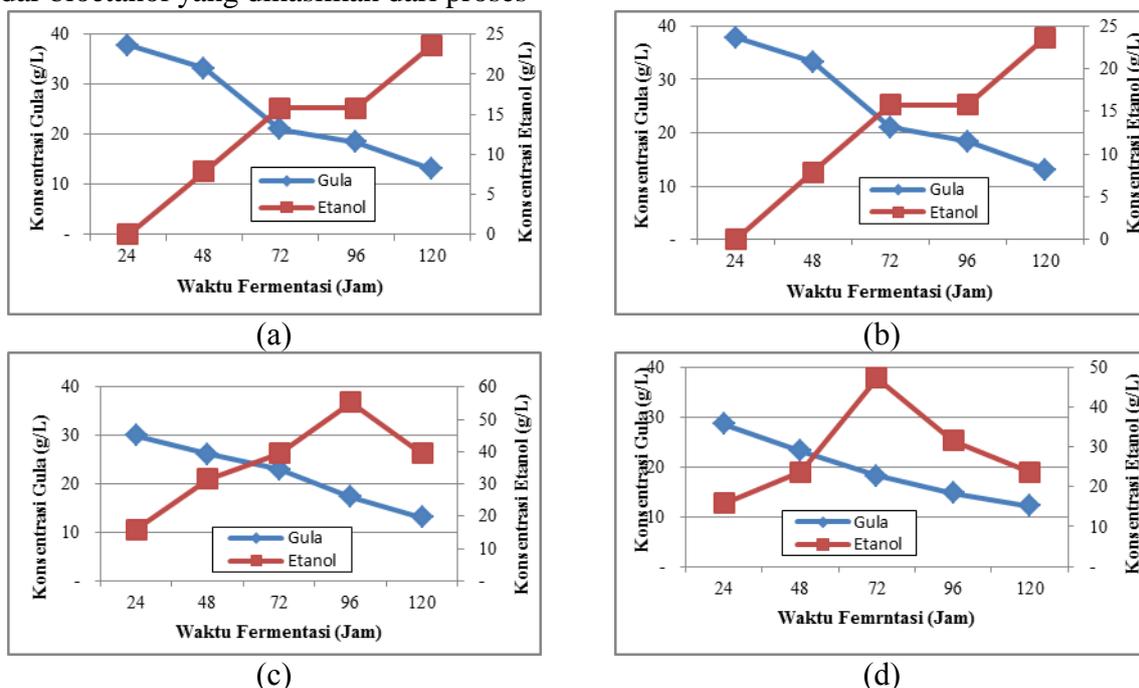
Sedangkan pada variasi konsentrasi *S. cerevisiae* 8 g/L dan 10 g/L terlihat bahwa jumlah sel menurun seiring waktu dengan menurunnya konsentrasi gula. Hal ini disebabkan karena mikroba pada variasi tersebut menggunakan substrat untuk memproduksi bioetanol. Selain itu menurut Kusumaningati dkk. (2013), semakin lama waktu fermentasi, maka nutrisi dalam medium semakin berkurang dengan adanya jumlah sel yang semakin bertambah dapat mengakibatkan kompetisi dan akhirnya akan memasuki fase kematian.

### 3.3 Pengaruh Penurunan Konsentrasi Gula Terhadap Kadar Bioetanol

Hubungan konsentrasi gula terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan dari proses

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa secara keseluruhan konsentrasi gula berkurang setiap waktu dan konsentrasi bioetanol semakin meningkat. Kondisi ini terjadi karena gula pada substrat fermentasi dikonsumsi oleh mikroba dan dikonversi menjadi bioetanol. Namun demikian, tidak seluruh gula pada substrat dikonversi menjadi bioetanol. Sesuai pernyataan Maharani (2011) bahwa gula pada proses fermentasi tidak hanya diubah menjadi bioetanol saja tetapi juga digunakan untuk pembentukan sel dan juga untuk pembentukan metabolit sekunder seperti asam piruvat.

Pada waktu fermentasi 24 jam pertama terlihat bahwa penurunan kadar gula tidak diimbangi dengan pembentukan bioetanol. Hal ini disebabkan karena gula yang ada digunakan oleh mikroba untuk memperbanyak sel. Pada waktu fermentasi hingga 72 jam, bioetanol belum juga diproduksi secara maksimal untuk variasi konsentrasi *S. cerevisiae* 4 g/L dan 6 g/L. Sedangkan pada variasi konsentrasi *S. cerevisiae* 8 g/L dan 10 g/L, jumlah mikroba yang ada lebih banyak mengkonsumsi gula sehingga menghasilkan

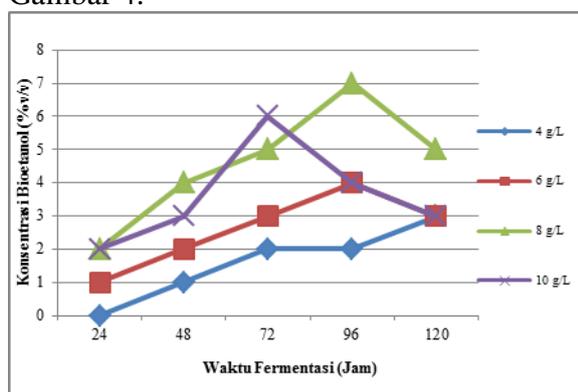


**Gambar 3** Hubungan Penurunan Konsentrasi Gula Terhadap Kadar Bioetanol pada Konsentrasi *Saccharomyces cerevisiae* (a) 4 g/L, (b) 6 g/L, (c) 8 g/L, dan (d) 10 g/L

kadar bioethanol yang tinggi. Namun pada waktu fermentasi 96 jam untuk variasi 6 g/L dan 8 g/L, kadar bioetanol yang dihasilkan menurun disebabkan karena nutrisi pada medium sudah mulai berkurang sehingga *S. cerevisiae* mengubah bioetanol menjadi asam asetat yang mengakibatkan penurunan kadar bioetanol (Idral dkk., 2012).

### 3.4 Pengaruh Konsentrasi *S. cerevisiae* Terhadap Kadar Bioetanol

Pada penelitian ini, konsentrasi *S. cerevisiae* berpengaruh terhadap kadar bioetanol yang diperoleh. Hubungan antara konsentrasi *S. cerevisiae* terhadap kadar bioetanol yang diperoleh seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4** Pengaruh Konsentrasi *S. cerevisiae* Terhadap Kadar Bioetanol

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan seperti pada Gambar 4, konsentrasi *S. cerevisiae* berpengaruh terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan. Kadar bioetanol maksimum didapatkan pada konsentrasi *S. cerevisiae* 8 g/L yaitu 7% (v/v) pada waktu fermentasi 96 jam. Menurut Asngad dan Suparti (2009), semakin lama proses fermentasi dan semakin banyak jumlah ragi yang diberikan pada substrat yang sama maka kadar bioetanol semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah mikroba yang terlibat dalam proses fermentasi.

Proses fermentasi tergantung pada banyak sedikitnya penambahan ragi dalam bahan (Asngad dan Suparti, 2009). Namun, jumlah mikroba yang lebih banyak pada

konsentrasi *S. cerevisiae* 10 g/L menyebabkan semakin cepat nutrisi dikonversi menjadi bioetanol, sehingga nutrisi segera menipis dan mikroba lebih cepat menuju fase kematian. Menurut Nasrun dkk. (2017), hal ini dikarenakan jumlah nutrisi yang tersedia tidak sebanding dengan jumlah *S. cerevisiae* yang lebih banyak, sehingga *S. cerevisiae* kekurangan makanan yang mengakibatkan kinerja *S. cerevisiae* menurun dan mengakibatkan jumlah bioetanol yang dihasilkan akan menurun juga.

Pada konsentrasi *S. cerevisiae* 4 g/L dan 6 g/L terlihat bahwa konsentrasi bioetanol yang dihasilkan masih sedikit. Asli (2010) menyatakan bahwa konsentrasi gula awal akan mempengaruhi kerja sel mikroba dalam produksi bioetanol dan konversi gula selama proses fermentasi. Pada konsentrasi substrat yang terlalu tinggi atau terlalu rendah, mikroba akan di inhibisi substrat untuk menghasilkan bioetanol karena sel mengalami stress dan metabolisme sel menurun.

### 3.5 Kadar Bioetanol pada Kondisi Terbaik

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi terbaik pada proses fermentasi pelepah sawit menggunakan *S. cerevisiae*. Berdasarkan penelitian, diketahui bahwa konsentrasi *S. cerevisiae* yang memberikan hasil terbaik yaitu 8 g/L. Kadar bioetanol yang di analisa menggunakan *gas chromatography* (GC) pada setiap waktu fermentasi seperti ditampilkan pada Tabel 3 sebagai berikut.

**Tabel 3** Kadar Bioetanol pada Kondisi Terbaik

Waktu Fermentasi (Jam)	Kadar Bioetanol	
	(% v/v)	(g/L)
24	0,83	6,55
48	2,05	16,18
72	2,39	18,86
96	3,29	25,97
120	1,00	7,89

Analisa GC ini bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya bioetanol yang dihasilkan dari proses fermentasi. Sampel yang dianalisa merupakan sampel hasil

fermentasi pada konsentrasi *S. cerevisiae* sebesar 8 g/L pada waktu fermentasi 24 jam hingga 120 jam. Berdasarkan Tabel 4.4, terlihat bahwa kadar bioetanol dipengaruhi oleh waktu fermentasi. Semakin lama waktu fermentasi, kadar bioetanol semakin meningkat. Kadar bioetanol optimum didapatkan pada waktu fermentasi 96 jam, yaitu sebesar 3,29% (v/v) atau 25,97 g/L dan menurun pada waktu fermentasi 120 jam. Kunaepah (2008) menyatakan bahwa semakin lama waktu fermentasi, konsentrasi bioetanol yang dihasilkan juga semakin meningkat. Akan tetapi, setelah kondisi optimum tercapai, bioetanol yang diperoleh cenderung menurun. Hal ini dikarenakan nutrisi yang ada sebagai makanan mikroba juga semakin menurun. Selain itu, menurut Widayanti dkk. (2013), pada fermentasi terjadi reaksi lanjut dari bioetanol sehingga bioetanol yang diperoleh menurun seiring bertambahnya waktu fermentasi setelah melewati kondisi optimum. Reaksi lanjut ini terjadi karena teroksidasinya bioetanol menjadi asam asetat.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan hal-hal berikut ini.

1. Bioetanol dapat diproduksi dari bahan baku pelepah sawit melalui proses *Separated Hydrolysis and Fermentation* (SHF) menggunakan *S. cerevisiae* dengan kadar bioetanol tertinggi sebesar 25,97 g/L.
2. Semakin tinggi konsentrasi *S. cerevisiae*, maka semakin besar kadar bioetanol dihasilkan. Konsentrasi *S. cerevisiae* optimum untuk proses fermentasi pelepah sawit melalui proses *Separated Hydrolysis and Fermentation* (SHF) adalah 8 g/L.
3. Waktu fermentasi berpengaruh terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan, dengan waktu optimum fermentasi pelepah sawit melalui proses *Separated Hydrolysis and Fermentation* (SHF) menggunakan *S. cerevisiae* yaitu selama 96 jam.

Berdasarkan penelitian, disarankan hal-hal berikut ini.

1. Hasil fermentasi sebaiknya segera dilakukan analisa atau di simpan pada tempat yang tertutup sangat rapat dan suhu yang rendah untuk menghindari penguapan.
2. Kondisi proses selama fermentasi sebaiknya dibuat anaerob untuk menghindari mikroba cepat mati dan oksidasi produk menjadi asam asetat.

#### 5. Daftar Pustaka

- Akbar, M.A., 2015. Pengaruh Pengadukan pada Pembuatan Bioetanol dari Pelepah Sawit Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. *Skripsi*. Program Studi Teknik Kimia S1 Fakultas Teknik Universitas Riau. Pekanbaru.
- Amalia, Y., 2014. Pembuatan Bioetanol dari Limbah Padat Sagu menggunakan Enzim Selulase dan *Yeast Saccharomyces cerevisiae* dengan Proses *Simultaneous Sacharification and Fermentation* (SSF) dengan Variasi Konsentrasi Substrat dan Volume Inokulum. *Skripsi*. Program Studi Teknik Kimia S1 Fakultas Teknik Universitas Riau. Pekanbaru.
- Asli, M.S., 2010. A Study on Some Efficient Parameters in Batch Fermentation of Ethanol Using *Saccharomyces cerevisiae* SC1 Extracted from Fermented Siaehe Sardasht Pomace. *African Journal of Biotechnology*, 9(20): 2906-2912.
- Asngad, A. dan Suparti, S., 2009. Lama Fermentasi dan Dosis Ragi yang Berbeda pada Fermentasi Gaplek Ketela Pohon (*Manihot utilissima*, Pohl) Varietas Mukibat Terhadap Kadar Glukosa dan Bioetanol. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 10(1), 1-9.
- Awaltanova, E., 2015. Fermentasi Nira Nipah Menjadi Bioetanol Menggunakan Teknik Immobilisasi Sel *Saccharomyces cerevisiae*. *Skripsi*. Program Studi Teknik

Kimia S1 Fakultas Teknik  
Universitas Riau. Pekanbaru.

Virginia Polytechnic Institute and  
State University. Virginia.

- Azizah, N., Al-Barrii, A.N. dan Mulyani, S., 2012. Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Kadar Alkohol, pH, dan Produksi Gas pada Proses Fermentasi Bioetanol dari Whey dengan Substitusi Kulit Nanas. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 1(3): 72-77.
- Badan Pusat Statistik. 2015. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia*. Katalog No. 5504003. ISSN 1978-9947. Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia. Jakarta.
- Broto, L. dan Kardono, S., 2010. Teknologi Pembuatan Etanol Berbasis Lignoselulosa Tumbuhan Tropis untuk Produksi Biogasoline. *Laporan akhir Program Insentif Penelitian & Perekayasa LIPI*.
- Eka, P. dan Halim, A., 2009. Pembuatan Bioethanol dari Nira Siwalan Secara Fermentasi Fese Cair Menggunakan Fermipan. *Seminar Tugas Akhir S1 Teknik Kimia UNDIP 2009*.
- Fitriani, F., Bahri, S. dan Nurhaeni, N., 2013. Produksi Bioetanol Tongkol Jagung (*Zea Mays*) dari Hasil Proses Delignifikasi. *Journal of Science and Technology*, 2(3): 66-74.
- Gaman, M. dan Sherrington, K.B., 1981. *Ilmu Pangan, Pengantar Ilmu Pangan, Nutrisi dan Mikrobiologi*. Ed ke-2. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Gunam, I.B.W., Aryanta, W.R., dan Darma, I.B.N.S., 2011. Produksi selulase kasar dari kapang *Trichoderma viride* dengan perlakuan konsentrasi substrat ampas tebu dan lama fermentasi. *Jurnal Biologi*, 15(2): 29-33.
- Ibrahim, M., 1998. Clean Fractionation of Biomass-Steam Explosion and Extraction. *Disertasi*. Department of Wood Science and Forest Products Virginia Polytechnic Institute and State University. Virginia.
- Idral, D.D., Salim, M. dan Mardiah, E., 2012. Pembuatan Bioetanol dari Ampas Sagu dengan Proses Hidrolisis Asam dan Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Kimia Unand*, 1(1): 34-39.
- Irawan, D. dan Arifin, Z., 2012. Proses Hidrolisis Sampah Organik Menjadi Gula dengan Katalis Asam Klorida. *Jurnal Teknik Kimia*, 6(2): 36-40.
- Infanto, H. 2012. Proses *Bleaching* Pelepeh Sawit Hasil Hidrolisis sebagai Bahan Baku Nitroselulosa dengan Variasi Suhu dan Waktu Reaksi. *Skripsi*. Program Studi Teknik Kimia S1 Fakultas Teknik Universitas Riau. Pekanbaru.
- Kunaepah, U., 2008. Pengaruh Lama Fermentasi dan Konsentrasi Glukosa Terhadap Aktivitas Antibakteri, Polifenol Total dan Mutu Kimia Kefir Susu Kacang Merah. *Disertasi*. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro. Semarang.
- Kusumaningati, M.A., Nurhatika, S. dan Muhibuddin, A., 2013. Pengaruh Konsentrasi Inokulum Bakteri *Zymomonas mobilis* dan Lama Fermentasi Pada Produksi Etanol dari Sampah Sayur dan Buah Pasar Wonokromo Surabaya. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(2): E218-E223.
- Lin, Y., Zhang, W., Li, C., Sakakibara, K., Tanaka, S. dan Kong, H., 2012. Factors affecting ethanol fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* BY4742. *Journal of Biomass and Bioenergy*, 47: 395-401.
- Maharani, D. M., 2011. Adaptasi *Saccharomyces cerevisiae* terhadap Asam Hidrolisat Ubi Kayu untuk Produksi Bioetanol. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

- Muin, R., Hakim, I., dan Febriyansyah, A., 2017. Pengaruh Waktu Fermentasi dan Konsentrasi Enzim Terhadap Kadar Bioetanol dalam Proses Fermentasi Nasi Aking Sebagai Substrat Organik. *Jurnal Teknik Kimia*, 21(3): 59-69.
- Nasrun, N., Jalaluddin, J. dan Mahfuddhah, M., 2017. Pengaruh Jumlah Ragi dan Waktu Fermentasi terhadap Kadar Bioetanol yang Dihasilkan dari Fermentasi Kulit Pepaya. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 4(2): 1-10.
- Octavia, S., Soerawidjaja, T.H., Purwadi, R. dan Putrawan, I.D.G.A., 2011, Pengolahan Awal Lignoselulosa Menggunakan Amoniak untuk Meningkatkan Perolehan Gula Fermentasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2011*: B131-B136.
- Putri, M.F., Sari, D.P., Caesari, A. dan Miranda, G., 2013. Biobleaching Pelepah Sawit sebagai Bahan Baku Pembuatan Nitroselulosa Menggunakan Enzim Xylanase. *Program Kreativitas Mahasiswa-Penelitian*.
- Rahayu, W.P. dan Nurwitri, C.C., 2012. *Mikrobiologi Pangan*. IPB Press. Bogor.
- Saragih, E. 2013. Pembuatan Nitroselulosa dari Selulosa Hasil Pemurnian Pelepah Sawit dengan Hidrogen Peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) Sebagai Bahan Baku Propelan. *Skripsi*. Program Studi Teknik Kimia S1 Fakultas Teknik Universitas Riau. Pekanbaru.
- Simanihuruk, K., Junjungan dan Ginting, S.P., 2008. Pemanfaatan Pelepah Kelapa Sawit sebagai Pakan Basal Kambing Kacang Fase Pertumbuhan. *Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner 2008*: 446 – 455.
- Tong, Z., Cheng, N. dan Pullammanappallil, P., 2013. Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Biofuels and Bioproducts. *Agricultural and Biological Engineering Department UF/IFAS Extension*. Florida.
- Wahono, S.K., Damayanti, E., Rosyida, V.T. dan Sadyastuti, E.I., 2011. Laju Pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* pada Proses Fermentasi Pembentukan Bioetanol dari Biji Sorgum (*Sorghum bicolor* L.). *Proceeding of National Seminar on Chemical Engineering and Process at Diponegoro University*. Semarang: D04.
- Widayanti, N.P., Rita, W.S. dan Ciawi, Y., 2013. Pengaruh Konsentrasi Ammonium Sulfat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) Sebagai Sumber Nitrogen Terhadap Produksi Bioetanol Berbahan Baku *Glacilaria* sp. *Jurnal Kimia*, 7(1): 1-10.
- Yenti, S.R., 2013. Pembuatan Bioetanol dari Nira Nipah Menggunakan *Sacharomyces cereviceae*. *Jurnal Teknobiologi*, 4(2): 105-108.