

JURNAL

PRODUKSI BIOETANOL DENGAN FILTRAT KULIT NANAS (*Ananas comosus* (L.) Merr) MENGGUNAKAN TEKNIK IMOBILISASI BERULANG SEL *Saccharomyces cerevisiae*

Disusun oleh :
Garvin Chandra
NPM : 130801419



**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNOBIOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI
YOGYAKARTA
2017**

PRODUKSI BIOETANOL DENGAN FILTRAT KULIT NANAS (*Ananas comosus* (L.) Merr) MENGGUNAKAN TEKNIK IMOBILISASI BERULANG SEL *Saccharomyces cerevisiae*

BIOETANOL PRODUCTION OF PINEAPPLE PEEL FILTRATE (*Ananas comosus* (L.) Merr) USING REPETITIVELY IMMOBILIZED *Saccharomyces cerevisiae* CELLS TECHNIQUE

Garvin Chandra^{1,*}, Bernardus Boy Rahardjo Sidharta¹, Fransiskus Sinung Pranata¹

¹Fakultas Teknobiologi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

*chandragarvin@gmail.com.

INTISARI

Produksi bioetanol secara konvensional (*free cell*) umumnya hanya dapat dilakukan sebanyak satu kali. Produksi bioetanol oleh *Saccharomyces cerevisiae* mengalami kendala karena etanol yang dihasilkan dapat meracuni mikrobia pada proses fermentasi sehingga dapat menghentikan pertumbuhan mikrobia. Meski demikian, ada beberapa teknik imobilisasi sel menunjukkan fermentasi etanol lebih dari satu kali. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui produksi bioetanol kulit nanas dengan teknik imobilisasi sel *Saccharomyces cerevisiae* secara berulang. Teknik imobilisasi dilakukan menggunakan Ca-alginat. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 4 variasi konsentrasi Ca-alginat yaitu 2, 4, 6, dan 8 %. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sterilisasi ruang kerja, alat, dan bahan kemudian persiapan bahan baku bubur kulit nanas lalu hidrolisis bubur kulit nanas kemudian diambil filtrat bubur kulit nanas. *Saccharomyces cerevisiae* dilakukan uji kemurnian kemudian *Saccharomyces cerevisiae* diimobilisasi lalu sel *Saccharomyces cerevisiae* imobil digunakan untuk fermentasi filtrat kulit nanas dan diuji aktivitas sel imobil dengan parameter kadar gula reduksi dan kadar etanol. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa fermentasi dapat dilakukan sebanyak tiga kali yang secara langsung dilihat dari penurunan kadar etanol yang dihasilkan dan metabolisme sel yang melambat. Variasi konsentrasi Ca-alginat berpengaruh nyata ($\alpha = 0,05$) terhadap produksi bioetanol pada parameter kadar etanol. Konsentrasi Ca-alginat yang menghasilkan kadar etanol tertinggi adalah 4 %, sebesar 18,2 % (w/v). Produktivitas etanol tertinggi adalah 2,5 (g/Ljam).

ABSTRACT

Conventional bioethanol (*free cell*) production usually just can be done one time . Bioethanol production by *Saccharomyces cerevisiae* having problems because of ethanol production that occurs can be toxic to microbes in the fermentation process so that it can inhibit microbial growth. However, there are some cell immobilized techniques that can ferment ethanol more than one times. The aim of this research was to determine bioethanol production pineapple peel with repeatedly cell *Saccharomyces cerevisiae* immobilized technique. Immobilized technique using Ca-alginat. This study uses a completely randomized design with four variations of Ca-alginate concentration 2, 4, 6, and 8%. Stages of research conducted is sterilization workspace, tools, and materials and then the preparation of raw materials of pineapple skin porridge and then hydrolysis the pineapple skin porridge and then taken pineapple skin filtrate filtrate. *Saccharomyces cerevisiae* was tested for purity then *Saccharomyces cerevisiae* immobilized and immobilized *Saccharomyces cerevisiae* cells were used for pineapple skin filtrate fermentation and tested immobil cell activity with parameter of reducing sugar content and ethanol content. The results obtained showed that the fermentation can be done three times that seen from decreased levels of ethanol and cell metabolism slows. Variations in the concentration of Ca-alginate significant effect ($\alpha = 0.05$) on the production of bioethanol on the parameters of ethanol content. Variations in the concentration of Ca-alginate that produces the highest ethanol content was 4%, was 18.2% (w/v). The highest ethanol productivity was 2.5 (g/Lhour).

Keyword : ethanol, pineapple peel, immobilized cell, *Saccharomyces cerevisiae*

PENDAHULUAN

Pada masa sekarang konsumsi bahan bakar minyak sangat tinggi, sedangkan produksi sumber bahan bakar minyak saat ini semakin menipis (Seftian dkk., 2012). Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2012), tercatat bahwa pada tahun 2012, produksi bahan bakar minyak, yaitu 25.968 kL/tahun, sedangkan konsumsi bahan bakar minyak, yaitu 61.472 kL/tahun. Bioetanol dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak. Bioetanol merupakan cairan hasil proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat (selulosa) menggunakan bantuan mikroba (Khairani, 2007). Masalah yang sering timbul pada proses fermentasi bioetanol adalah terjadinya inhibisi produk etanol (Galeote dkk., 2001).

Nanas (*Ananas comosus*) merupakan anggota dari famili Bromeliaceae dan terdiri dari sekitar 200 species dengan produksi tahunan di seluruh dunia lebih dari 14 juta ton (Brat dkk., 2004). Limbah pertanian merupakan sumber energi terbarukan dan dapat dimanfaatkan karena memiliki karakteristik tidak beracun, terdapat dalam jumlah besar, murah dan mampu mendukung pertumbuhan produksi biomassa (Dhanasekaran dkk., 2011). Pabrik pengalengan nanas hampir 67% dari buah yang terdiri dari 41% kulit, 6% jonggol atau inti, 20% mahkota tidak dimanfaatkan dan dibuang sebagai limbah yang menyebabkan pencemaran lingkungan (Abdullah, 2007).

Imobilisasi sel merupakan suatu proses untuk menghentikan pergerakan dari molekul enzim atau sel ditahan pada tempat tertentu dalam suatu ruang reaksi yang digunakan sebagai katalis. Keuntungan dengan menggunakan imobilisasi

sel dibandingkan dengan *free cell* adalah memberikan kemudahan pemisahan produk, volumetrik produktivitas yang tinggi, meningkatkan proses kontrol dan mengurangi kontaminasi, menurunkan biaya pemisahan, serta mencegah terjadinya *wash out* pada aliran keluar produk (Darmawan dkk., 2010). Teknik imobilisasi dibedakan menjadi dua, yaitu imobilisasi aktif dan imobilisasi pasif. Imobilisasi aktif merupakan teknik penjebakan (*entrapment*) yang dapat dilakukan menggunakan bahan berpori seperti alginat, poliakrilamida, kitosan, dan kolagen, sedangkan imobilisasi pasif merupakan teknik pelekatan (*attachment*) (Shuler dan Kargi, 1992).

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai penggunaan kulit nanas sebagai substrat dalam pembuatan bioetanol. Selain itu, penelitian produksi bioetanol juga perlu dilakukan teknik imobilisasi sel untuk meningkatkan efisiensi produksi bioetanol oleh *Saccharomyces cereviceae*. Dengan demikian, produk etanol yang dihasilkan memiliki presentase produksi yang tinggi dengan *cost* yang murah.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah baskom, kain blacu, *laminar air flow* (ESCO Airstream), blender Philip, refraktometer Autago, gelas beker, tabung reaksi, rak tabung reaksi, plastik *wrap*, penjepit kayu, kompor gas, tabung Durham, jarum ose, *vortex* Thermolyne, rotary evaporator IKA, pisau, bunsen, Erlenmeyer, kertas saring, propipet, pipet ukur, cawan petri, timbangan analitik Explorer Ohaus, autoklaf Hirayama Hi-clave HVE-50, inkubator

Memmert, botol kaca, botol air, shaking inkubator JSR, kertas payung, kapas, karet, gabus, gelas pengaduk, sarung tangan, selang, jarum suntik Terumo dan masker. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit nanas yang dibeli di jalan Magelang km 6 Yogyakarta, sediaan *Saccharomyces cerevisiae* FNCC 3012 yang dibeli di Pusat Studi Pangan dan Gizi UGM, taugé, *Potato Dextrose Agar*, natrium alginat, cat *methyl blue*, cat *Ziehl Nelsen*, CaCl_2 1 M, NaOH 2 %, alkohol 70 %, glukosa anhidrat, *phenol red*, fruktosa, sukrosa, laktosa dan akuades.

Tahap Pelaksanaan

Sterilisasi bagian dalam *laminar air flow* disemprot dengan alkohol 70%, kemudian lampu UV dinyalakan selama 15 menit. Alat dan bahan dibungkus menggunakan kertas payung. Setelah itu, alat dan bahan disterilisasi menggunakan autoklaf dengan suhu 121 °C pada tekanan 1 atm (Black dan Jacquelyn, 2008 dengan modifikasi). Kulit nanas sebanyak 1 kg dicuci dengan air hingga bersih kemudian dipotong kecil-kecil. Kulit nanas yang sudah berukuran kecil, kemudian diblender sampai halus dengan kulit nanas sebanyak 1 kg dan air sebanyak 500 ml (Hutagulung dkk., 2016 dengan modifikasi).

Bubur kulit nanas sebanyak 1 kg dimasukkan ke dalam Erlenmeyer, kemudian ditambahkan 200 ml NaOH 2%, kemudian disterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm selama 90 menit. Bubur kulit nanas yang sudah dihidrolisis kemudian disaring dengan kain blacu untuk mendapatkan filtrat (Novia dkk., 2012 dengan modifikasi).

Uji Kemurnian *Saccharomyces cerevisiae* yang dilakukan uji morfologi koloni *Saccharomyces cerevisiae* (bentuk koloni, permukaan koloni, elevasi koloni, dan warna koloni), uji morfologi sel, uji spora dan uji fermentasi karbohidrat (sukrosa, laktosa, glukosa) oleh *Saccharomyces cerevisiae* (Soemarno, 2000 dengan modifikasi).

Imobilisasi sel *Saccharomyces cerevisiae* dengan cara kultur *Saccharomyces cerevisiae* sebanyak 1 ose diinokulasikan pada 100 ml medium taugé cair, kemudian diinkubasi pada suhu 29°C selama 48 jam. Larutan Na-alginat 2%, 4%, 6%, dan 8% sebanyak 100 ml dicampur dengan kultur *Saccharomyces cerevisiae* pada medium taugé cair, kemudian larutan diambil dengan jarum suntik, kemudian diteteskan ke dalam 500 ml larutan kalsium klorida 2% dan didiamkan selama 30 menit. Proses fermentasi dilakukan pada bioreaktor *batch* dengan 300 ml substrat filtrat kulit nanas, kemudian diinkubasi pada inkubator shaker selama 72 jam pada suhu 29 °C dan kecepatan 190 rpm. Pada proses fermentasi diamati kadar gula reduksi pada jam ke-12, 24, 48, dan 72 dengan metode Nelson Somogyi (Widjaja dkk., 2009 dengan modifikasi).

Uji aktivitas sel *Saccharomyces cerevisiae* imobil dilakukan dengan cara penggunaan berulang sel imobil dalam proses fermentasi bioetanol. Sel imobil yang digunakan setelah fermentasi dicuci dengan akuades, kemudian sel imobil digunakan untuk fermentasi bioetanol selanjutnya. Parameter yang diamati adalah kadar etanol dalam medium. Penentuan kadar etanol dengan menggunakan *hand refractometer* PAL-34S (Indriany dkk., 2013 dengan modifikasi).

Pemisahan bioetanol kulit nanas dilakukan dengan cara hasil fermentasi etanol dipisahkan dengan rotary evaporator pada suhu 78°C sampai etanol tidak menetes lagi. Etanol yang dihasilkan kemudian disimpan dalam botol kaca. Etanol di ukur kadarnya dengan cara di teteskan pada refraktometer hingga menutupi permukaan lensa refraktometer (Indriany dkk., 2013 dengan modifikasi). Data yang diperoleh akan dianalisis menggunakan ANAVA dengan tingkat kepercayaan 95 %. Jika hasil ANAVA menunjukkan beda nyata, maka analisis dilanjutkan dengan *Duncan's Multiple Range Test* untuk mengetahui beda nyata antar perlakuan dan analisis ANAVA dan DMRT menggunakan program SPSS 15.0 (Yuianti, 2014).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan produksi etanol dengan cara fermentasi menggunakan isolat murni *Saccharomyces cerevisiae* FNCC 3012. Uji kemurnian (Tabel 1) dilakukan untuk mendapatkan isolat *Saccharomyces cerevisiae* murni. Menurut Pusat Studi Pangan dan Gizi UGM (2017), *Saccharomyces cerevisiae* FNCC 3012 memiliki bentuk sel oval dan pembentukan tunas multilateral. Hasil uji kemurnian khamir yang dilakukan menunjukkan bahwa khamir yang digunakan adalah *Saccharomyces cerevisiae* yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Kemurnian *Saccharomyces cerevisiae*

Uji Kemurnian	Hasil Uji	Menurut Pustaka Ahmad (2005)
Morfologi Koloni	Permukaan koloni <i>smooth</i> , Oval, Konveks, Putih	Permukaan koloni <i>smooth</i> , Oval, Konveks, Putih
Uji Karbohidrat	Glukosa : (+) Sukrosa : (+) Laktosa : (-)	Glukosa : (+) Sukrosa : (+) Laktosa : (-)
Pengecatan <i>Methylen Blue</i>	Bulat Lonjong	Oval atau Bulat Lonjong
Pengecatan <i>Ziehl Nielsen</i>	Terdapat spora	Terdapat spora

Keterangan : Tanda (-) menunjukkan hasil uji negatif, tanda (+) menunjukkan hasil uji positif

Hasil pengukuran kadar gula reduksi menggunakan metode *Nelson Somogy* filtrat bubur kulit nanas yang telah dihidrolisis. Berdasarkan pengukuran sampel pada panjang gelombang 540 nm menggunakan spektrofotometer sebanyak 5 kali didapatkan rata-rata absorbansi sebesar 0,220. Nilai absorbansi yang didapat kemudian dihitung menggunakan rumus sehingga didapatkan kadar gula sampel sebesar 0,54 mg/ml.

Hasil uji kadar gula reduksi saat fermentasi (Tabel 2) menggunakan metode *Nelson Somogy* untuk melihat pengaruh variasi konsentrasi Ca-alginat 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap konsumsi gula sel *Saccharomyces cerevisiae* pada jam ke-0, 12, 24, 48 dan 72. Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat kadar gula reduksi memiliki tren menurun seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi dan pemakaian berulang sel. Berdasarkan analisis kadar gula reduksi dapat diketahui bahwa penurunan kadar gula reduksi tertinggi atau konsumsi gula paling banyak

adalah sel Imobil *Saccharomyces cerevisiae* dengan konsentrasi Ca-alginat 2 % dan paling rendah sel Imobil *Saccharomyces cerevisiae*.

Hasil uji kadar reduksi (Tabel 2) dapat diketahui bahwa pada pemakaian sel ke-1 menunjukkan jam ke-0 sampai jam ke-24 tren penurunan kadar gula reduksi cenderung sedikit hal tersebut menandakan bahwa sel *Saccharomyces cerevisiae* sedang berada pada fase adaptasi (lag). Pada jam ke-24 sampai jam ke-72 tren penurunan kadar gula reduksi tinggi hal tersebut menandakan bahwa sel *Saccharomyces cerevisiae* sedang berada pada fase log. Hasil pemakaian sel ke-2 dapat diketahui bahwa pada jam ke-0 sampai jam ke-72 tren penurunan kadar gula reduksi mulai melambat atau stabil hal tersebut menandakan bahwa sel *Saccharomyces cerevisiae* sedang berada pada fase stasioner. Hasil pemakaian sel ke-3 dapat diketahui pada jam ke-0 sampai jam ke-72 tren penurunan kadar gula reduksi sangat lambat atau menurun hal ini menandakan bahwa sel *Saccharomyces cerevisiae* sudah memasuki fase kematian.

Hasil tersebut menunjukkan semakin tinggi konsentrasi Ca-alginat maka semakin rendah tingkat konsumsi gula oleh sel *Saccharomyces cerevisiae*. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi alginat 2% memiliki bentuk alginat yang memiliki struktur membran yang tidak kuat, kurang rapat dan lembek sehingga memudahkan difusi cairan glukosa ke dalam mikroorganisme, sedangkan pada konsentrasi alginat tinggi (8 %) terlihat bahwa dinding alginat memiliki struktur membran yang tebal, kuat, dan rapat sehingga difusi cairan glukosa ke dalam mikroorganisme terhambat. Hasil ini sesuai dengan teori menurut Mesla dkk.

(2014) dan Widjaja (2008) bahwa semakin tebal membran maka kecepatan difusi akan semakin lambat.

Tabel 2. Hasil Uji Kadar Gula Reduksi

Konsentrasi Ca-alginat	Waktu (jam)	Gula Reduksi (mg/ml) Pemakaian Sel		
		1	2	3
2 %	0	0,54	0,54	0,54
	12	0,47	0,45	0,49
	24	0,41	0,43	0,46
	48	0,25	0,36	0,42
	73	0,22	0,31	0,38
4 %	0	0,54	0,54	0,54
	12	0,48	0,49	0,49
	24	0,42	0,45	0,46
	48	0,26	0,38	0,43
	72	0,23	0,32	0,40
6 %	0	0,54	0,54	0,54
	12	0,48	0,49	0,50
	24	0,43	0,45	0,46
	48	0,27	0,40	0,43
	72	0,23	0,33	0,40
8 %	0	0,54	0,54	0,54
	12	0,48	0,50	0,50
	24	0,44	0,46	0,46
	48	0,31	0,41	0,43
	72	0,23	0,35	0,40

Keterangan: Angka 2 %, 4 %, 6 %, 8 % adalah variasi konsentrasi Ca-alginat yang digunakan untuk mengimobilisasi sel *Saccharomyces cerevisiae*

Hasil uji Duncan (Tabel 3) terlihat bahwa kadar bioetanol variasi konsentrasi Ca-alginat 2 %, 4 %, 6 %, dan 8 % memberikan hasil yang beda nyata pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ terhadap kadar bioetanol. Pada pemakaian sel *Saccharomyces cerevisiae* pertama didapatkan kadar etanol pada variasi konsentrasi Ca-alginat 2 % sebesar 12,8 %, pada variasi konsentrasi Ca-alginat 6 % sebesar 14,6 %, pada variasi konsentrasi Ca-alginat 8 % sebesar 6,8 %, kadar etanol tertinggi pada variasi konsentrasi Ca-alginat 4 % sebesar 18,2 %. Pada

pemakaian sel *Saccharomyces cerevisiae* kedua didapatkan kadar etanol pada variasi konsentrasi Ca-alginat 2 % sebesar 8,4 %, pada variasi konsentrasi Ca-alginat 6 % sebesar 10,6 %, pada variasi konsentrasi Ca-alginat 8 % sebesar 4,4 %, kadar etanol tertinggi pada variasi konsentrasi Ca-alginat 4 % sebesar 13,4 %. Pada pemakaian sel *Saccharomyces cerevisiae* ketiga didapatkan kadar etanol pada variasi konsentrasi Ca-alginat 2 % sebesar 4,5 %, pada variasi konsentrasi Ca-alginat 6 % sebesar 6,4 %, pada variasi konsentrasi Ca-alginat 8 % sebesar 2,2 %, kadar etanol tertinggi pada variasi konsentrasi Ca-alginat 4 % sebesar 8,3 %.

Tabel 4. Hasil Uji Kadar Etanol (%)

Konsentrasi Ca-alginat (%)	Pemakaian Sel		
	1	2	3
2	12,8000 ^b	8,4000 ^b	4,5000 ^b
4	18,2000 ^d	13,4000 ^d	8,3000 ^d
6	14,6000 ^c	10,6000 ^c	6,4000 ^c
8	6,8000 ^a	4,4000 ^a	2,2000 ^a

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak beda nyata pada tingkat kepercayaan 95%. Angka 2 %,4 %,6 %,8 % adalah variasi konsentrasi Ca-alginat yang digunakan untuk mengimobilisasi sel *Saccharomyces cervisiceae*

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa kadar etanol paling tinggi terdapat pada sel imobil dengan konsentrasi Ca-alginat 4 %. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi alginat 2 % struktur alginat yang tidak kuat atau lembek dan kurang rapat sehingga terlalu mudah difusi etanol ke dalam sehingga *Saccharomyces cerevisiae* mudah teracuni maka kadar pada konsentrasi alginat 2 % produksi etanol rendah. Pada konsentrasi alginat 8 % struktur alginat terlalu tebal, kuat, dan rapat sehingga difusi cairan glukosa ke dalam *Saccharomyces cervisiceae* terhambat maka menyebabkan produksi etanol juga terhambat.

Hasil uji Duncan (Tabel 5) terlihat bahwa produktivitas bioetanol variasi konsentrasi Ca-alginat 2 %, 4 %, 6 %, dan 8 % memberikan hasil yang beda nyata pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ terhadap kadar bioetanol. Hasil uji produktivitas etanol (Tabel 5) dapat diketahui bahwa sel imobil dengan konsentrasi Ca-alginat 2 % memiliki konsumsi gula yang lebih besar dibandingkan dengan Ca-alginat 8 %. Produktivitas etanol yang dihasilkan mempunyai kecenderungan naik kemudian menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi alginat dan jumlah pengulangan yang dilakukan. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi alginat 2 % struktur alginat yang tidak kuat atau lembek dan kurang rapat sehingga terlalu mudah difusi etanol ke dalam sehingga *Saccharomyces cerevisiae* mudah teracuni maka kadar pada konsentrasi alginat 2 % produksi etanol rendah. Pada konsentrasi alginat 8 % struktur alginat terlalu tebal, kuat, dan rapat sehingga difusi cairan glukosa ke dalam *Saccharomyces cerevisiae* terhambat maka menyebabkan produksi etanol juga terhambat.

Tabel 5. Produktivitas Etanol (g/Ljam) Sel Imobil *Saccharomyces cerevisiae*

Konsentrasi Ca-alginat (%)	Pemakaian Sel		
	1	2	3
2	1,80 ^b	1,16 ^b	0,62 ^b
4	2,50 ^d	1,86 ^d	1,18 ^d
6	2,08 ^c	1,47 ^c	0,87 ^c
8	0,97 ^a	0,61 ^a	0,29 ^a

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak beda nyata pada tingkat kepercayaan 95%. Angka 2 %,4 %,6 %,8 % adalah variasi konsentrasi Ca-alginat yang digunakan untuk mengimobilisasi sel *Saccharomyces cerevisiceae*

Hasil uji pemakaian berulang sel *Saccharomyces cerevisiae* dapat diketahui bahwa kadar etanol menurun seiring meningkatnya pemakaian secara

berulang. Pemakaian berulang sel *Saccharomyces cerevisiae* hanya dapat dilakukan sebanyak 3 kali.

Pemakaian sel imobil hanya dapat dilakukan sebanyak 3 kali hal ini dikarenakan setiap penggunaan berulang menunjukkan berkurangnya aktivitas atau metabolisme sel *Saccharomyces cerevisiae*. Aspek efektivitas sel imobil jika digunakan dalam fermentasi secara berulang dengan cara menggunakan sel imobil yang sama untuk beberapa kali fermentasi. Hasil yang didapat adalah kadar etanol setelah beberapa kali fermentasi mengalami penurunan (Putra, 2006). Penurunan kadar etanol dapat disebabkan oleh kerusakan dan pelepasan pada sebagian kecil sel akibat pengaruh mekanik seperti pengadukan, penyaringan, dan pencucian. Selain itu, faktor umur sel sendiri juga mempengaruhi produksi etanol (Ikbal, 2010).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian produksi bioetanol kulit nanas (*Ananas comosus* (L.) dengan teknik imobilisasi secara berulang sel *Saccharomyces cerevisiae* yang telah dilakukan, dapat diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Produksi etanol dengan kadar tertinggi yaitu pada Konsentrasi Ca-alginat 4 % didapatkan kadar etanol sebesar 18,2, 13,4, dan 8,3 %.
2. Teknik imobilisasi sel *Saccharomyces cerevisiae* dengan Ca-alginat pada substrat kulit nanas dapat digunakan sebanyak 3 kali pengulangan fermentasi.

SARAN

Saran yang dapat diajukan terkait penelitian produksi bioetanol kulit nanas (*Ananas comosus* (L.) dengan teknik imobilisasi secara berulang sel *Saccharomyces cerevisiae* adalah:

1. Perlu dilakukan pengukuran pH, pertumbuhan sel, dan viabilitas sel agar meningkatkan efisiensi dan produksi etanol secara optimal.
2. Perlu menggunakan model reaktor *packed bed reactor* agar dapat meningkatkan produksi dari etanol.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan metode analisis pori-pori (ukuran pori dan struktur pori) membran Ca-alginat dengan metode *Bubble Point* dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) agar dapat meningkatkan efektivitas dari sel imobil.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. 2007. Solid and liquid pineapple waste utilization for lactic acid fermentation using *Lactobacillus delbrueckii*. *Jurnal Reaktor* 11(1): 50-52.
- Ahmad, R. Z. 2005. Pemanfaatan khamir *Saccharomyces cerevisiae* untuk ternak. *Wartazoa* 15(1): 49-55.
- Brat, P., Hoang, L. N. T., Soler, A., Reynes, M., dan Brillouet, J. M. 2004. Physicochemical characterization of a new pineapple hybrid. *Journal of Agricultural and food chemistry* 52(20): 6170-6177.
- Darmawan, R., Darmawan, R., Widjaja, T., Mulyanto, M., dan Ardiansyah, E. T. 2010. Studi perbandingan produksi etanol secara kontinyu menggunakan *Z. Mobilis* termutasi dengan teknik imobilisasi sel:Ca-Alginat dan K-Karaginan. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*. Universitas Diponegoro Semarang, 7 Oktober 2010.

- Dhanasekaran, D., Lawanya, S., Saha, S., Thajuddin, N., dan Panneerselvam, A. 2011. Production of single cell protein from pineapple waste using yeast. *Innovative Romanian Food Biotechnology* 8(8): 26.\
- Galeote, V., Blondin, B., Dequin, S., dan Sablayrolles, J. M. 2001. Stress effect of ethanol on fermentation kinetics by stationary-phase cells of *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnology Letters* 23(9): 677-681.
- Hutagalung, T., Nainggolan, R. J., dan Nurminah, M. 2016. Effect of ratio of pineapple pulp with carrot pulp and stabilizer type on the quality of jam sheet. *Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian* 4(1): 58-64.
- Indriany, D., Mappiratu, M., dan Nurhaeni, N. 2013. Pemanfaatan limbah tongkol jagung (*Zea Mays*) untuk produksi bioetanol menggunakan sel ragi amobil secara berulang. *Online Journal of Natural Science FMIPA* 2(3): 54-65.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2012. *Statistik Minyak Bumi 2012*. http://www.esdm.go.id/statistik/data-sektoresdm/doc_download/1256-statistik-minyak-bumi-2012.html. diakses tanggal 20 Agustus 2016.
- Khairani, R. 2007. *Tanaman Jagung Sebagai Bahan Bio-fuel*. <http://www.Macklintmip.unpad.net/Biofuel/Jagung/Pati.pdf>. diakses tanggal 16 Juni 2016
- Novianti, N., Mappiratu, M., dan Musafira, M. 2013. Pemanfaatan limbah serbuk gergaji untuk produksi bioetanol menggunakan sel ragi imobil secara berulang. *Online Journal of Natural Science FMIPA* 2(3):9-18.
- Seftian, D., Antonius, F., dan Faizal, M. 2012. Pembuatan etanol dari kulit pisang menggunakan metode hidrolisis enzimatik dan fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia* 18(1):10-16.
- Shuler, M. L dan K. F. Kargi. 1992. *Bioprocess Engineering Basic Concepts*. Prentice Hall, New Jersey. Halaman 20-32.
- Widjaja, T., Andina, M., dan Agustin, D. 2009. Pengaruh konsentration gula terhadap produksi etanol dari molases dengan teknik imobilisasi sel. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*.
- Yuianti, M.L.I. 2014. *Biostatika*. Graha Ilmu, Yogyakarta. Halaman 32-39.