



## PEMANFAATAN PATI SINGKONG KARET (*Manihot glaziovii*) UNTUK PRODUKSI BIOETANOL FUEL GRADE MELALUI PROSES DISTILASI-DEHIDRASI MENGGUNAKAN ZEOLIT ALAM

Nadia Zahrotul Firdausi, Nugraha Bayu Samodra, Hargono<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

### Abstrak

Bioetanol adalah etanol dari fermentasi biomassa dengan bantuan mikroorganisme. Bioetanol fuel grade harus memiliki kadar diatas 99,5% (w/w). Pembuatan bioetanol fuel grade melalui beberapa tahapan, yaitu hidrolisis, fermentasi, dan pemurnian bioetanol. Bioetanol dapat diproduksi dari bahan berpati seperti singkong karet (*Manihot glaziovii*) yang tidak memiliki nilai ekonomis sebagai produk pangan. Untuk dapat difermentasi, harus dilakukan hidrolisis untuk memecah pati menjadi glukosa dengan menggunakan enzim  $\alpha$ -amilase dan glukoamilase. Fermentasi dilakukan dengan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dalam ragi fermipan. Pemurnian etanol dilakukan dengan operasi distilasi dan dehidrasi. Operasi dehidrasi menggunakan zeolit alam dilakukan untuk melalui kadar azeotrop campuran etanol-air pada 95,63% (w/w) etanol, sehingga dapat diperoleh etanol fuel grade. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh volume enzim glukoamilase terhadap konversi pati menjadi glukosa, pengaruh massa ragi fermipan terhadap konversi glukosa menjadi etanol, dan pengaruh massa adsorben zeolit terhadap kadar etanol yang dihasilkan. Dari hasil penelitian didapatkan: konversi pati tertinggi pada 42,20% dengan volume enzim glukoamilase 0,20% (v/v); konversi glukosa tertinggi pada 77,93% dengan massa ragi fermipan 1,5% (w/v); dan kadar etanol tertinggi pada 99,73% (w/w) dengan massa adsorben zeolit 90% (w/v), yang mana telah memenuhi spesifikasi bioetanol fuel grade.

**Kata kunci:** bioetanol fuel grade; glukoamilase; *Manihot glaziovii*; zeolit alam

### Abstract

Bioethanol is an alcohol substance which can be obtained by biomass fermentation process by microorganism. Fuel grade bioethanol must obtain purity higher than 99,5% (w/w). The making of fuel grade bioethanol through several processes, hydrolysis, fermentation, and purification. Bioethanol can be produced from starch material such as singkong karet (*Manihot glaziovii*) which has no economic value as a food product. Before fermentation process, it must be hydrolyzed first to convert starch into glucose by  $\alpha$ -amylase and glucoamylase enzyme. Fermentation process use *Saccharomyces cerevisiae* from fermipan yeast to convert glucose into ethanol. Ethanol purification use distillation process followed by dehydration process. Dehydration process use natural zeolite to break azeotrop composition of ethanol-water at 95,63% (w/w), in order to obtain fuel grade ethanol. The objectives of this research are to examine starch conversion into glucose by the effect of glucoamylase enzyme added, glucose conversion into ethanol by the effect of fermipan yeast added, and purity of ethanol obtained by the effect of zeolite used. This research results that the highest starch conversion is 42,20% in addition of glucoamylase enzyme 0,20% (v/v); the highest glucose conversion is 77,93% in addition of fermipan yeast 1,5% (w/v); and the highest purity of ethanol obtained is 99,73% (w/w) by using zeolite as adsorben 90% (w/v), which is accepted as fuel grade bioethanol.

**Keywords:** fuel grade bioethanol; glucoamylase; *Manihot glaziovii*; natural zeolite

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab ([hargono\\_tkundip@yahoo.co.id](mailto:hargono_tkundip@yahoo.co.id))



## 1. Pendahuluan

Konsumsi energi terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Sementara sumber daya alam yang dapat menghasilkan energi selama ini berasal dari sumber daya alam yang tidak terbarukan. Salah satu bentuk sumber energi terbarukan adalah biomassa. Energi biomassa berasal dari bahan organik dan sangat beragam jenisnya. Hasil konversi biomassa ini dapat berupa biogas, bioetanol, biodiesel, arang dan sebagainya.

Bioetanol adalah etanol yang dihasilkan dari fermentasi biomassa dengan bantuan mikroorganisme. Selama ini bioetanol diproduksi dari molase ataupun bahan berpati, seperti singkong atau jagung. Menurut data Badan Pusat Statistik, pada tahun 2011, produksi singkong di Indonesia mencapai 24,08 juta ton. Namun, pemanfaatannya selama ini lebih banyak digunakan sebagai sumber pangan dengan berbagai jenis olahan, karena keuntungan pengolahan singkong menjadi bahan makanan lebih menjanjikan. Pembuatan bioetanol dari bahan yang kurang memiliki nilai jual dan kurang bermanfaat akan lebih potensial. Singkong karet (*Manihot glaziovii*) merupakan salah satu jenis singkong pohon yang mengandung senyawa beracun, yaitu asam sianida (HCN), sehingga tidak dimanfaatkan sebagai produk pangan oleh masyarakat. Sehingga singkong karet sangat potensial untuk dijadikan bioetanol.

Etanol *fuel grade* memiliki angka oktan 118 (Prihandana, 2008). Angka tersebut melampaui nilai maksimal yang mungkin dicapai oleh bensin yang dijual sebagai bahan bakar, yaitu 95. Makin tinggi angka oktan, bahan bakar makin tahan untuk tidak terbakar sendiri sehingga menghasilkan kestabilan proses pembakaran untuk memperoleh daya yang lebih stabil. Proses pembakaran dengan daya yang lebih stabil akan mengurangi polusi emisi gas karbon monoksida. Emisi gas buang yang berasal dari penggunaan bahan bakar fosil dapat dikurangi dengan menggunakan bioetanol sebagai campuran bahan bakar Premium. Campuran bioetanol 10%, mampu menurunkan emisi karbon monoksida hingga 25-30% (Wahid, 2005). Hal ini dilakukan karena selain mengurangi tingkat polusi, penggunaan bioetanol juga dapat menghemat bahan bakar fosil yang jumlahnya terbatas, tidak dapat diperbaharui, dan tidak ramah lingkungan.

Empat proses utama dalam produksi bioetanol adalah *pretreatment*, hidrolisis, fermentasi dan pemurnian (Sukumaran, 2008). Hidrolisis pati merupakan proses pemecahan molekul amilum menjadi bagian-bagian penyusunnya yang lebih sederhana seperti dekstrin, isomaltosa, maltosa dan glukosa (Purba, 2009). Proses hidrolisis pati dapat menggunakan katalis enzim atau asam. Hidrolisis secara enzimatik lebih menguntungkan, karena prosesnya lebih spesifik, kondisi prosesnya dapat dikontrol, glukosa yang dihasilkan relatif lebih banyak, tidak beracun, dan biaya pemurnian lebih murah (Suyandra, 2007). Secara garis besar, tahap hidrolisis pati adalah gelatinisasi, liquifikasi dan sakarifikasi. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses hidrolisis yaitu perbandingan jumlah enzim terhadap bahan baku. Enzim yang biasa digunakan untuk proses glukosa adalah enzim  $\alpha$ -amilase dan enzim glukamilase. Gelatinisasi, yaitu memecah pati yang berbentuk granular menjadi suspensi yang *viscous* yang dapat dilakukan dengan adanya panas. Tahap liquifikasi merupakan proses hidrolisis pati menjadi dekstrin oleh enzim  $\alpha$ -amilase pada suhu di atas suhu gelatinisasi. Enzim  $\alpha$ -amilase akan memotong ikatan amilosa dengan cepat pada pati kental yang telah mengalami gelatinisasi. Proses liquifikasi selesai ditandai dengan parameter dimana larutan menjadi lebih encer. Tahap sakarifikasi adalah tahap pemecahan gula kompleks menjadi gula sederhana dengan penambahan enzim glukamilase. Pada tahap ini dekstrin diubah menjadi glukosa.

Fermentasi alkohol merupakan proses pembuatan alkohol dengan memanfaatkan aktivitas yeast. Alkohol pada intinya dapat dibuat dari bahan-bahan yang mengandung gula atau dari bahan-bahan yang dapat dijadikan gula. Untuk bahan-bahan yang dapat dijadikan gula, diperlukan proses pendahuluan yang dikenal dengan proses sakarifikasi. Untuk pertumbuhannya, yeast memerlukan energi yang berasal dari karbon. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses fermentasi adalah jumlah ragi yang digunakan. Proses fermentasi bioetanol menggunakan mikroba *Saccharomyces cerevisiae* dari ragi fermipan.

Pemurnian dilakukan untuk mendapatkan bioetanol dengan kadar lebih tinggi. Distilasi adalah metode pemisahan campuran yang saling melarut berdasar perbedaan tekanan uap murni atau titik didih masing-masing komponen yang terdapat dalam campuran. Distilasi dioperasikan dengan menggunakan tenaga pemisah berupa panas (Henley, 1981). Distilasi untuk memisahkan etanol dari air hanya dapat mencapai komposisi kurang dari komposisi azeotropnya, yaitu 95,63% (w/w) (Kiss, 2012). Untuk meningkatkan kadar etanol melebihi komposisi azeotropnya diperlukan proses dehidrasi dengan menggunakan adsorben. Adsorben berupa zeolit alam yang memiliki kemampuan untuk menyerap air namun tanpa menyerap etanol. Zeolit menyerap dan mengikat air karena molekul air lebih kecil daripada molekul etanol. Molekul air berukuran 2,8 Å dan partikel etanol berukuran 4,4 Å (Salem, 1998). Oleh karena itu untuk pemurnian bioetanol, digunakan zeolit yang mempunyai ukuran pori 3 Å ( $1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$ ). Sehingga molekul air yang ukurannya lebih kecil dari pori zeolit dapat terjerap, sedangkan molekul etanol yang ukurannya lebih besar dapat lolos. Karena sejumlah air terjerap oleh zeolit maka diperoleh hasil etanol dengan kemurnian yang tinggi, yakni di atas 99,5% (w/w).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh volume enzim glucoamilase terhadap konversi pati menjadi glukosa, pengaruh massa ragi fermipan terhadap konversi glukosa menjadi etanol, dan pengaruh massa adsorben zeolit terhadap kadar etanol yang dihasilkan.

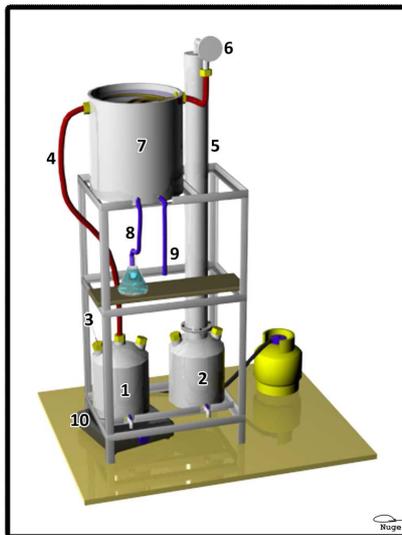
## 2. Metode Penelitian

### Bahan

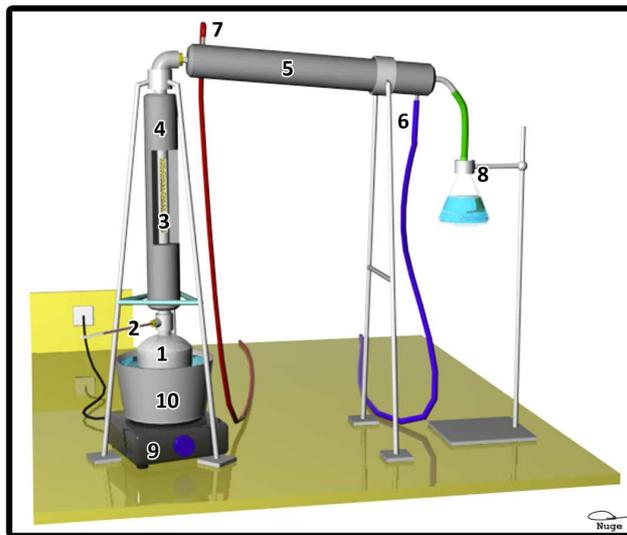
Bahan yang digunakan antara lain singkong karet, air suling, enzim  $\alpha$ -amilase (Novozyme, Denmark), enzim glucoamilase (Novozyme, Denmark), fermipan (Mauripan, Jaya Fermex), NPK, urea, glukosa standard, fehling A, fehling B, dan zeolit alam.

### Alat

Alat yang digunakan antara lain satu unit alat hidrolisis, tempat fermentasi, satu unit alat distilasi, satu unit alat dehidrasi, peralatan analisis glukosa, dan piknometer.



**Gambar 1.** Rangkaian alat distilasi: (1) labu didih distilasi 1; (2) labu didih distilasi 2; (3) termometer; (4) aliran uap distilasi 1; (5) aliran uap distilasi 2; (6) indikator suhu; (7) kondenser; (8) aliran distilat 1; (9) aliran distilat 2.



**Gambar 2.** Rangkaian alat dehidrasi: (1) labu didih; (2) termometer; (3) kolom dehidrasi; (4) isolator; (5) kondenser; (6) aliran pendingin masuk; (7) aliran pendingin keluar; (8) aliran hasil dehidrasi; (9) kompor listrik; (10) water bath.

### Prosedur Penelitian

#### Proses pembuatan tepung pati:

Ubi singkong karet dikupas dari kulitnya lalu dibersihkan dari kotoran dengan air bersih dan digiling agar didapat hasil yang halus dan ukuran merata. Hasil gilingan ubi singkong karet ditambahkan air secukupnya serta diaduk agar tercampur merata. *Slurry* disaring lalu filtrat yang diperoleh ditampung. Hingga didapatkan ampas yang benar-benar kering. Ampas kembali dilarutkan, kemudian filtrat disaring dan ditampung pada tempat berbeda. Langkah tersebut diulang hingga filtrat yang dihasilkan sudah tidak berwarna keruh lagi. Filtrat yang diperoleh didiamkan dalam wadah beberapa saat hingga terbentuk endapan di dasar wadah. Endapan dipisahkan dari airnya. Endapan yang diperoleh kemudian dijemur hingga kering dan diangin-anginkan di udara terbuka. Diperoleh tepung pati singkong karet.

#### Proses Hidrolisis:

Membuat larutan 20% (w/w) suspensi pati sebanyak 4000 mL. Larutan suspensi pati dimasukkan ke bejana dan dipanaskan hingga menjadi gel (proses gelatinasi) hingga suhu 90 °C, lalu ditambahkan enzim  $\alpha$ -amilase sebanyak 0,05% (v/v) terhadap volume hidrolisis dengan pengadukan (proses likuifikasi). Proses likuifikasi pada suhu 90 °C selesai 30 menit setelah penambahan enzim  $\alpha$ -amilase. Setelah proses likuifikasi, suhu diatur hingga suhu 60 °C, menambahkan enzim glucoamilase sesuai variabel, yaitu 0,05% (v/v); 0,10% (v/v); 0,15% (v/v); 0,2% (v/v). Proses sakarifikasi pada suhu 60 °C selesai 4 jam setelah penambahan enzim glucoamilase. Dilakukan pengecekan kadar glukosa dengan

metode titrasi iodometri setiap 30 menit. Larutan hasil sakarifikasi diinaktivasi pada suhu 110 °C selama 10 menit.

#### Proses Fermentasi:

Larutan glukosa hasil hidrolisis pati diatur kadar glukosa pada 14% (w/w) untuk semua variabel percobaan. *Yeast* diinokulasi dengan mencampurkan 5% volume total dari larutan hasil hidrolisis dengan Fermipan sesuai variabel percobaan, yaitu 0,5% (w/v); 1,0% (w/v); 1,5% (w/v) dan nutrient berupa pupuk 12 g NPK dan 24 g urea dengan pengadukan hingga tercampur merata. Inokulum ditambahkan ke dalam larutan hasil hidrolisis, kemudian dilakukan proses fermentasi secara anaerob. Proses fermentasi dilakukan selama 8 hari. Larutan hasil fermentasi akan terbentuk dua lapisan, lapisan protein dan lapisan etanol-air pada lapisan atas. Lapisan etanol-air dipisahkan dari endapannya (lapisan protein) dengan kertas saring. Dilakukan analisis kadar glukosa dengan metode titrasi iodometri setiap hari dan hitung volume etanol yang terbentuk.

#### Pemurnian Etanol:

Larutan etanol-air didistilasi dengan menggunakan operasi distilasi batch dua tahap. Larutan sebanyak 4000 mL dimasukkan ke dalam labu didih, dan larutan dipanaskan hingga suhu 80 °C. Distilat ditampung hingga diperoleh volume 1000 mL. Kadar etanol diukur dengan menggunakan piknometer. Distilat yang diperoleh dari distilasi tahap pertama selanjutnya dimasukkan ke dalam labu didih distilasi kedua. Panaskan larutan hingga suhu 80 °C. Distilat ditampung hingga diperoleh volume 250 mL. Densitas etanol diukur dengan menggunakan piknometer.

Sebelum digunakan sebagai adsorben dalam operasi dehidrasi, zeolit alam terlebih dahulu diaktivasi. Aktivasi zeolit dengan memasukkan zeolit sebanyak 300 g ke dalam beaker glass, ditambahkan larutan NaOH 1 N sebanyak 1000 mL, kemudian dipanaskan hingga 70 °C selama 2 jam. Zeolit dipisahkan dengan NaOH, kemudian dicuci dengan air suling. Lalu zeolit diangin-anginkan hingga kering. Zeolit dioven pada suhu 300 °C selama 2 jam.

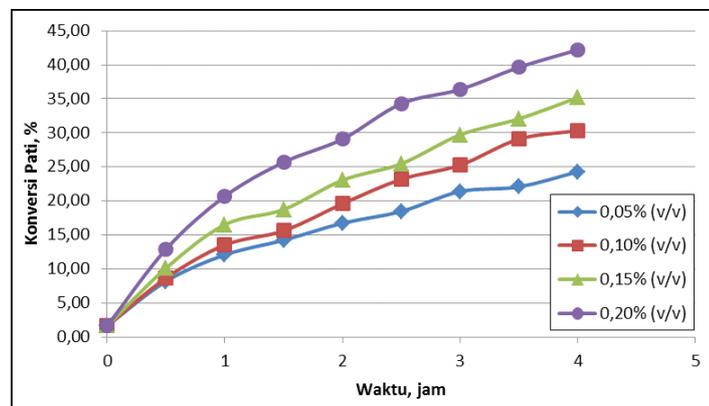
Dilakukan operasi dehidrasi terhadap distilat yang diperoleh, dengan menggunakan zeolit alam sesuai variabel percobaan, yaitu 30% (w/v); 45% (w/v); 60% (w/v); 75% (w/v); 90% (w/v). Zeolit yang telah diaktivasi dimasukkan ke dalam kolom dehidrasi dengan diameter 1 in dan tinggi 60 cm. Etanol hasil distilasi sebanyak 250 mL dimasukkan ke dalam labu didih, lalu dididihkan sehingga terjadi operasi dehidrasi. Larutan keluar kolom dehidrasi dikondensasi. Volume larutan hasil dehidrasi diukur dan densitas diukur menggunakan piknometer. Kadar etanol dapat dilihat pada Tabel 2-111 Perry.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini akan dipelajari mengenai pengaruh volume enzim glukoamilase pada proses hidrolisis, pengaruh massa ragi fermipan pada proses fermentasi, dan massa zeolit pada proses adsorpsi terhadap konversi yang dihasilkan.

#### Pengaruh Variabel pada Proses Hidrolisis

Proses hidrolisis pati pada percobaan ini bertujuan untuk mengkonversi pati menjadi glukosa. Konversi pati yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 3.



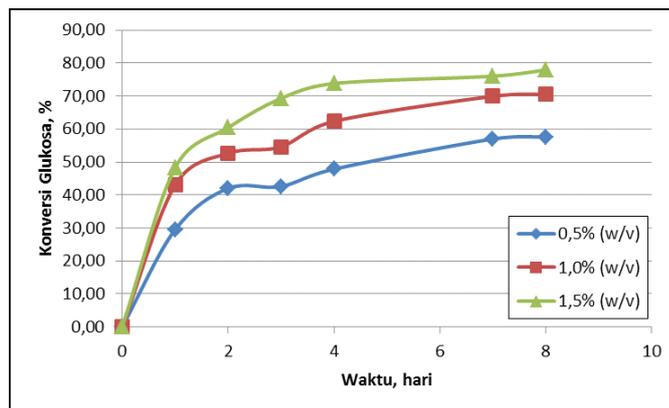
Gambar 3. Pengaruh Volume Enzim Glukoamilase terhadap Konversi Pati Proses Hidrolisis.

Gambar 3. menunjukkan bahwa untuk semua variabel penambahan enzim glukoamilase, mengalami peningkatan konversi pati. Konversi pati yang paling tinggi terjadi pada variabel 0,20% (v/v) enzim glukoamilase, yakni menghasilkan konversi pati sebesar 42,20% dengan kadar glukosa sebesar 75,96 g/L. Menurut Cekmecelioglu (2012), peningkatan konversi pati dapat dicapai dengan penggunaan

enzim glucoamilase yang lebih tinggi. Hal tersebut sesuai dengan percobaan ini, dimana semakin banyak enzim yang ditambahkan pada proses hidrolisis maka semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh konversi yang sama (Levenspiel, 1972). Dengan kata lain, dengan waktu yang sama akan dihasilkan konversi yang lebih tinggi.

#### Pengaruh Variabel pada Proses Fermentasi

Proses fermentasi glukosa pada percobaan ini bertujuan untuk mengkonversi glukosa menjadi etanol. Konversi glukosa yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.

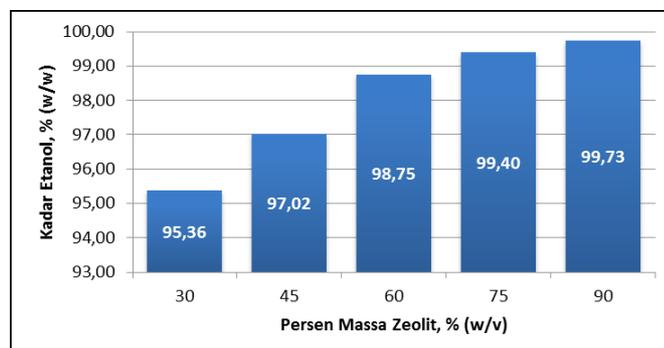


Gambar 4. Pengaruh Massa Fermipan terhadap Konversi Glukosa Proses Fermentasi.

Dalam Gambar 4. menunjukkan bahwa semua variabel penambahan ragi fermipan mengalami peningkatan terhadap konversi glukosa. Konversi glukosa paling tinggi terjadi pada variabel 1,5% (w/v) ragi fermipan, yakni menghasilkan konversi glukosa sebesar 77,93% dengan kadar etanol 8,26% (v/v). Hal tersebut sesuai dengan Suyandra (2007) yaitu semakin banyak ragi, etanol yang terbentuk pada proses fermentasi semakin banyak pula, karena fungsi utama ragi adalah mengubah gula menjadi etanol dan karbon dioksida. Sehingga semakin banyak ragi yang ditambahkan maka semakin banyak pula glukosa yang terkonversi menjadi etanol.

#### Pengaruh Variabel pada Proses Pemurnian

Setelah melalui tahap hidrolisis dan fermentasi, diperoleh larutan dengan kandungan etanol dari konversi kedua proses tersebut. Selanjutnya dilakukan tahap pemurnian etanol, terdiri dari operasi distilasi dan dehidrasi. Pada operasi distilasi, diperoleh etanol dengan kemurnian 93,23% (w/w), dan kemudian dilanjutkan dengan operasi dehidrasi. Kadar etanol hasil dehidrasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Massa Zeolit terhadap Kadar Etanol Operasi Dehidrasi

Pada Gambar 5. ditunjukkan bahwa pada semua variabel massa zeolit pada operasi dehidrasi mengalami peningkatan. Hal ini sesuai dengan Lindawati (2007), bahwa semakin banyak massa adsorben zeolit dalam kolom, maka ketinggian isi zeolit di dalam kolom semakin besar, hal ini mengakibatkan kontak antara larutan etanol dengan zeolit semakin lama, sehingga semakin banyak molekul air yang terjerap ke dalam pori zeolit. Disamping itu, semakin banyak massa adsorben zeolit, maka kapasitas



dalam menjerap air semakin tinggi, sehingga dihasilkan kadar etanol yang lebih tinggi (Novitasari, 2012). Namun dari semua variabel, yang memenuhi spesifikasi etanol fuel grade adalah pada variabel massa zeolit 90% (w/v) dengan kadar etanol 99,73% (w/w).

#### 4.Kesimpulan

Proses hidrolisis didapatkan konversi pati tertinggi pada variabel 0,20% (v/v) enzim glukoamilase, yakni sebesar 42,20%. Semakin banyak enzim yang ditambahkan maka semakin rendah energi aktivasi, sehingga konversi yang dihasilkan semakin tinggi. Proses fermentasi didapatkan konversi glukosa tertinggi pada variabel 1,5% (w/v) ragi fermipan, yakni sebesar 77,93% dan kadar etanol 8,26% (v/v). Semakin banyak ragi maka semakin banyak etanol yang terbentuk, karena fungsi utama ragi adalah mengubah gula menjadi etanol dan karbon dioksida. Operasi dehidrasi didapat kadar etanol tertinggi pada variabel 90% (w/v) zeolit, yakni 99,73% (w/w), yang mana telah memenuhi spesifikasi bioetanol *fuel grade*. Semakin banyak zeolit maka kapasitas untuk menjerap air akan semakin banyak, sehingga dihasilkan kadar etanol yang lebih tinggi.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ir. Hargono, MT. selaku dosen pembimbing penelitian serta Laboratorium Pengolahan Limbah Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro atas kontribusinya sebagai tempat penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- Cekmecelioglu, Deniz. dan Oya N. Uncu. 2012. “*Kinetic Modeling of Enzymatic Hydrolysis of Pretreated Kitchen Wastes for Enhancing Bioethanol Production*”. Waste Management Journal, 2012, 1-5.
- Henley, E. J. dan Seader J. D. 1981. “*Equilibrium-Stage Separation Operation in Chemical Engineering*”. John Wiley & Sons, Inc. Kanada.
- Kiss, A. A. dan R. M. Ignat. 2012. “*Innovative Single Step Bioethanol Dehydration in An Extractive Dividing-Wall Column*”. Separation and Purification Technology 98 Journal, 2012, 290-297.
- Levenspiel, Octave. 1972. “*Chemical Reaction Engineering 2<sup>nd</sup> edition*”. John Willey & Sons Inc. Kanada.
- Lindawati. 2007. “*Pengaruh Variasi Ketinggian dan Diameter Adsorben Kulit Jagung (Zea mays) terhadap Penyerapan Cr(VI) dalam Air*”. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas.
- Novitasari, D., dkk. 2012. “*Pemurnian Bioetanol Menggunakan Proses Adsorpsi dan Distilasi Adsorpsi dengan Adsorbent Zeolit*”. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol. 1, No. 1, 2012.
- Perry, Robert H. 1999. “*Perry Chemical Engineers Handbook 7<sup>th</sup> edition*”. Mc Graw-Hill Companies, Inc. USA.
- Prihandana, Rama, dkk. 2008. “*Bioetanol Ubi Kayu Bahan Bakar Masa Depan*”. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Purba, Elida. 2009. “*Hidrolisis Pati Ubi Kayu (Manihot Esculenta) dan Pati Ubi Jalar (Impomonea batatas) menjadi Glukosa secara Cold Process dengan Acid Fungal Amilase dan Glukoamilase*”. Universitas Lampung, Lampung.
- Salem, M. Ben-Shebil. 1998. “*Effect of Heat of Adsorption on The Adsorptive Drying of Solvents at Equilibrium in A Packed Bed of Zeolite*”. Chemical Engineering 74 Journal, 1999, 197-204.
- Sukumaran, R.K. 2008. “*Cellulase Production Using Biomassa Feed Stock and Its Application in Lignocellulosa Saccharification for Bioethanol Production*”. Renewable Energy, Vol. 30, hal.1-4.
- Suyandra, Isradharma. 2007. “*Pemanfaatan Hidrolisat Pati Sagu (Metroxylon sp.) sebagai Sumber Karbon pada Fermentasi Etanol oleh Saccharomyces cerevisiae*”. Departemen Teknologi Industri Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Wahid, La Ode M. 2005. “*Pemanfaatan Bio-Ethanol Sebagai Bahan Bakar Kendaraan Berbahan Bakar Premium*”. Prospek Pengembangan Bio-fuel sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak hal.63-74.