

PEMBUATAN ALKOHOL DARI LIMBAH SAYURAN PASAR

PRODUCTION OF ALCOHOL FROM MARKET VEGETABLE WASTE

Haeruddin¹, La Harimu², Ratna³, Fatahu⁴, Dian Anggreni⁵

^{1, 2, 3, 5}Jurusan Pendidikan Kimia Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Halu Oleo

Jl. H. E. A. Mokodompit Anduonohu Kendari

⁴Jurusan Pendidikan Ekonomi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Halu Oleo

Jl. H. E. A. Mokodompit Anduonohu Kendari

Dikirim: 1 Mei 2020; Disetujui: 5 Juni 2020; Diterbitkan: 31 Juli 2020

DOI: [10.46891/kainawa.2.2020.51-64](https://doi.org/10.46891/kainawa.2.2020.51-64)

Inti Sari

Limbah organik pasar seperti sayur-sayuran merupakan salah satu masalah lingkungan di perkotaan. Untuk mengurangi limbah sayuran maka dilakukan pengolahan melalui hidrolisis dan selanjutnya di fermentasi menjadi alkohol. Tujuan penelitian adalah memanfaatkan limbah sayur melalui proses hidrolisis dan difermentasi menjadi alkohol. Kadar alkohol yang dihasilkan dipengaruhi pH, kadar ragi dan waktu fermentasi. Serbuk limbah sayur yang digunakan adalah limbah kangkung, sawi, dan wortel dengan perbandingan 5:3:2. Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen. Parameter yang diteliti adalah variasi pH (3, 4, 5, dan 6), variasi kadar ragi, (1, 1,5, 2, 2,5, dan 3), dan variasi lama fermentasi (3, 4, 5, 6, dan 7 hari). Serbuk limbah sayur sebanyak 50 gram dihidrolisis menggunakan pelarut air sebanyak 900 mL pada suhu 100°C dan setelah selesai dilakukan penyaringan sehingga diperoleh residu dan filtrat. Filtrat hasil hidrolisis kemudian diukur kadar glukosanya menggunakan metode Nelson Somogy dengan UV-Vis Spektrofotometer. Filtrat sampel yang difermentasi sebanyak 500 ml ditambahkan starter 50 ml, 7,5 gram serbuk kulit bakau, dan ditambahkan ragi sesuai variasi yang diteliti dan disimpan sesuai dengan variasi waktu fermentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar glukosa yang dihasilkan dari proses hidrolisis sebesar 11,87%. Kondisi fermentasi optimum untuk menghasilkan kadar alkohol maksimal adalah pada pH 4,5, kadar ragi 2,5 gram, dan lama fermentasi 6 hari dengan kadar etanol yang dihasilkan 9,57%.

Kata Kunci: etanol; limbah sayur; fermentasi; pH; ragi

Abstract

Organic waste such as vegetables market is one of the environmental problems in urban areas. To reduce vegetable waste, it is processed through hydrolysis and then fermented into alcohol. The aim of this study is to utilize vegetable waste through the hydrolysis process and fermented into alcohol. The resulting alcohol levels are influenced pH, yeast levels, and fermentation time. Vegetable waste powder used was kale, mustard greens and carrots with a ratio of 5: 3: 2. This research is a type of experimental research. The parameters studied were variations in pH (3, 4, 5, and 6), variations in yeast content, (1, 1.5, 2, 2.5, and 3), and variations in fermentation time (3, 4, 5, 6, and 7 days). Vegetable waste powder 50 grams of hydrolyzed using water as much as 900 mL of solvent at a temperature of 100°C and after completion of the screening and the filtrate thus obtained residue. Hydrolysis filtrate is then measured glucose levels using Nelson Somogy method with a UV-Vis spectrophotometer. The filtrate sample of 500 ml of fermented starter added 50 ml, 7.5 grams of mangrove bark powder, and yeast is added in accordance variations studied and stored in accordance with the variation of fermentation time. The results showed that the glucose level produced from the hydrolysis process was 11.87%. The optimum conditions

* Penulis Korespondensi

Telepon : +62-821-9738-4194
Surel : harim_l@yahoo.co.id

© 2020 Penulis



Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons
Atribusi-NonKomersial-BerbagiSerupa 4.0 Internasional.

of fermentation to produce maximum alcohol content are at pH 4.5, yeast content of 2.5 grams, and 6 days fermentation time with ethanol content produced 9.57%.

Keywords: *ethanol; vegetable waste; fermentation; pH; yeast*

I. PENDAHULUAN

Komposisi utama sampah kota adalah 65% berisi sampah organik. Sampah organik dari wilayah kota adalah biomassa yang berat keringnya 75%. Sampah organik berupa pati, hemiselulosa, selulosa, dan terdiri atas sayur-sayuran, buah-buahan, dedaunan, kulit buah, bambu dan ranting kayu (Irawan & Arifin, 2010).

Sayuran sebagai kebutuhan manusia yang tinggi menyebabkan jumlah pasokan sayuran di pasar juga meningkat. Sayuran merupakan bahan organik yang cepat mengalami pembusukan sehingga dibuang begitu saja oleh masyarakat. Sebagai contoh, limbah sayur di pasar Baruga, Kecamatan Baruga, Kota Kendari dibiarkan menumpuk begitu saja. Limbah sayuran merupakan limbah organik yaitu kumpulan dari berbagai macam sayuran setelah disortir karena tidak layak jual sehingga tidak dimanfaatkan untuk konsumsi manusia (Santoso & Manan, 2015). Kusnadi dkk. (2009), dari total sampah organik kota, sekitar 60% merupakan sayur-sayuran dan 40% merupakan daun-daunan, kulit buah-buahan dan sisa makanan.

Limbah sayuran yang dibiarkan menumpuk mempunyai dampak bagi manusia dan lingkungan karena dapat mencemari lingkungan dan menimbulkan masalah kesehatan masyarakat karena berpotensi sebagai sumber penyebaran penyakit. Beberapa jenis limbah sayur yang kebanyakan ditemukan di pasar misalnya kangkung, wortel, bayam, mentimun, sawi, kubis dan beberapa jenis sayur lainnya.

Komposisi gizi yang terkandung dalam sayur yaitu air, protein, komposisi vitamin dan mineral. Namun komposisi yang utama dalam sayur yaitu air dan mineral (Damayanti dkk., 2017). Pengolahan limbah sayuran selama ini belum optimal karena masyarakat hanya mengolahnya menjadi pupuk atau sebagai pakan ternak.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah limbah sayuran adalah dengan mengolahnya menjadi bioetanol melalui fermentasi. Selain untuk mengurangi masalah pencemaran lingkungan, pemanfaatan limbah sayuran menjadi bioetanol mempunyai manfaat lain yaitu dapat menambah nilai ekonomi bagi masyarakat. Bioetanol merupakan

suatu bentuk energi alternatif sebab dapat mengurangi ketergantungan terhadap Bahan Bakar Minyak. Bioetanol adalah etanol yang diproduksi melalui proses fermentasi menggunakan bantuan mikroba. Malhotra dkk. (2013) melakukan penelitian dengan mengubah limbah buah-buahan dan sayuran seperti kulit nanas, kulit pisang, kulit jeruk, dan kulit kacang untuk menghasilkan alkohol melalui proses fermentasi dengan persentase alkohol hasil masing-masing 8,34% v/v, 7,45% v/v, 3,98% v/v dan 2,58 % v/v. Deshpande dkk. (2015) memanfaatkan limbah sayur di pasar menjadi etanol dengan proses destilasi diperoleh kemurnian 95%. Felix S. dkk. (2012) mengolah limbah pasar berupa sisa-sisa sayuran yang dicampur dengan kotoran sapi dengan berbagai perbandingan menjadi biogas melalui proses fermentasi.

Pengolahan limbah sayuran melalui proses fermentasi dilakukan dengan memanfaatkan peran mikroba. Untuk menghasilkan bioetanol dari limbah sayuran maka dilakukan melalui tahap hidrolisis, tahap fermentasi dan tahap destilasi. Tahap hidrolisis, kompleks bahan organik (polimer) didekomposisi menjadi unit yang lebih kecil (mono dan oligo). Karbohidrat, lipid, dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, purin dan pirimidin. Di samping itu hidrolisis juga bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa, merusak struktur kristal dari selulosa serta meningkatkan porositas bahan (Sun & Cheng, 2002). Peneliti lain, Gosavi dkk. (2017) limbah sayur dan buah-buahan digunakan sebagai bahan untuk menghasilkan biofuel melalui proses hidrolisis yang dilanjutkan dengan fermentasi.

Fermentasi merupakan suatu proses penguraian zat kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana. Fermentasi alkohol adalah proses pengubahan karbohidrat menjadi alkohol dengan memanfaatkan mikroba *Saccharomyces cerevisiae* secara anaerob (Abdullah & Ariyanti, 2012). Pada kondisi aerob *Saccharomyces cerevisiae* menghidrolisis gula menjadi air dan CO₂, tetapi dalam keadaan anaerob gula akan diubah oleh *Saccharomyces cerevisiae* menjadi alkohol dan CO₂. Ditambahkan oleh Richana (2011), jika tujuan penggunaan *Saccharomyces cerevisiae* adalah untuk menghasilkan alkohol maka dibutuhkan

kondisi anaerob, tetapi untuk pembuatan starter biakan awal diperlukan kondisi aerob.

Penggunaan *Saccharomyces cerevisiae* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan mikroorganisme lain yang dapat memproduksi etanol. Kelebihan tersebut antara lain lebih mudah beradaptasi dengan lingkungan, lebih tahan terhadap kadar alkohol tinggi, dan lebih mudah di dapat.

Dalam tahap fermentasi sampel ditambahkan inhibitor tertentu yang bertujuan untuk menghambat pembentukan asam asetat. Salah satu inhibitor yang dapat digunakan untuk menghambat pembentukan asam asetat adalah kulit kayu bakau (*Xylocarpus sp.*). **Kristiani (2013)** telah melakukan penelitian dengan memanfaatkan kulit kayu bakau (*Xylocarpus sp.*) sebagai inhibitor dalam produksi bioetanol dari limbah pulp kakao (*Theobroma cacao, L.*).

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses fermentasi yaitu waktu fermentasi, jumlah ragi, suhu, derajat keasaman (pH), dan jenis substrat. Derajat keasaman (pH) berpengaruh terhadap kadar etanol. Saat proses fermentasi tidak berada pada pH optimum yang dibutuhkan oleh mikroba untuk tumbuh, maka akan mempengaruhi aktivitas mikroba dalam mengubah gula menjadi etanol. Selain itu waktu fermentasi juga dipengaruhi oleh kandungan gula suatu bahan dan jumlah ragi. Semakin lama waktu fermentasi maka akan mempengaruhi kadar etanol yang dihasilkan. Produk akhir dari proses fermentasi berupa etanol dan CO₂.

Kusnadi dkk. (2009) telah melakukan penelitian tentang pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar etanol yang dihasilkan dari limbah organik berupa sayur dan buah-buahan. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar etanol tertinggi diperoleh pada waktu fermentasi selama 6 hari. Penelitian tentang pengaruh derajat keasaman (pH) telah dilakukan oleh **Kartikasari & Nisa (2014)**, penelitian tersebut dilakukan dengan memanfaatkan buah sirsak. Selain itu, penelitian tentang derajat keasaman (pH) juga telah dilakukan oleh **Liu dkk. (2015)** terhadap kadar etanol dari proses fermentasi. Berdasarkan data hasil penelitian menunjukkan bahwa derajat keasaman (pH), kadar ragi, dan waktu fermentasi berpengaruh terhadap kadar etanol yang dihasilkan.

II. METODE

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Oktober 2017 di Laboratorium Jurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Halu Oleo, Kendari.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu satu set alat destilasi, satu set alat refluks, blender, ayakan 45 mesh, neraca analitik (Precisa), gelas kimia (Pyrex), Erlenmeyer (Pyrex), termometer, tabung reaksi, gelas ukur (Pyrex), labu takar (Pyrex), pemanas listrik, pengaduk magnet, corong kaca, pipet tetes, pipet volume, filler, mortar, batang pengaduk, spatula, penangas air, pH meter (Jenway), piknometer (Pyrex), spektrofotometer UV-Vis (U-2900), fermentor (botol fermentasi), selang plastik, dan botol semprot.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah sayuran(kangkung, sawi, wortel), reagen Nelson A, reagen Nelson B, reagen Arsenomolibdat, larutan HCl 0,1 M, ragi roti, kulit kayu bakau (*Xylocarpus sp.*), kertas saring, aluminium foil, kertas label, dan akuades.

C. Metode Pengambilan Sampel

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Parameter yang diteliti adalah pengaruh derajat keasaman (pH), kadar ragi dan waktu fermentasi terhadap kadar etanol dari fermentasi limbah sayuran. Penelitian ini dilakukan dengan tiga variabel bebas dan satu variabel terikat. Variabel bebas adalah derajat keasaman (pH), kadar ragi, dan waktu fermentasi dengan variasi derajat keasaman (pH) yaitu 4,0; 4,5; 5,0 dan 5,5. Untuk variasi kadar ragi yang digunakan adalah 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; dan 3,0 gram, dan variasi waktu fermentasi yaitu 3 hari, 4 hari, 5 hari, 6 hari dan 7 hari. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kadar etanol yang dihasilkan.

D. Prosedur Kerja

1) Penyiapan Bahan Baku

Limbah sayur yang dijadikan sampel dalam penelitian ini yaitu limbah sayur tidak layak jual

ditandai dengan adanya perubahan warna, yang diambil dari pasar Baruga, Kecamatan Baruga, dan pasar Korem, Kecamatan Mandonga, Kendari.

Sayuran terlebih dahulu dicuci bersih kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari. Selanjutnya, sampel tersebut dibawa ke laboratorium untuk dihaluskan dengan menggunakan blender sehingga dihasilkan sayuran dalam bentuk serbuk dan dilakukan proses pengayakan dengan ayakan ukuran 45 mesh.

2) Penyiapan Kulit Kayu Bakau (*Xylocarpus sp.*)

Kulit kayu bakau (*Xylocarpus sp.*) diambil dari Desa Tampo, Kecamatan Napabalano, Kabupaten Muna, Sulawesi Tenggara. Kulit kayu bakau yang telah disiapkan terlebih dahulu dibersihkan kemudian dikeringkan. Selanjutnya, kulit kayu bakau tersebut dicacah hingga ukurannya sekitar 1 cm dan dihaluskan menjadi serbuk kemudian diayak dengan ayakan 45 mesh (Kristiani, 2013).

3) Hidrolisis

Sampel ditimbang sebanyak 50 gram (25 gram serbuk kangkung, 15 gram serbuk sawi dan 10 gram serbuk wortel), kemudian ditambahkan dengan akuades sebanyak 900 ml (Merina & Trihadiningrum, 2011). Kemudian campuran diaduk agar sampel larut secara sempurna. Selanjutnya, larutan tersebut dipanaskan selama 30 menit pada suhu 100°C. Setelah itu, sampel didinginkan dan dilakukan proses penyaringan (Kusnadi dkk., 2009).

4) Penentuan Kadar Glukosa dengan Metode Nelson Somogy

Prosedur penentuan glukosa pada sampel yaitu di pipet 1 ml sampel kemudian ditambahkan dengan 1 ml reagen Nelson dan dipanaskan dalam water bath selama 20 menit. Tabung reaksi tersebut kemudian didinginkan di dalam gelas kimia yang berisi air. Kemudian, ditambahkan dengan 1 ml reagen Arsenomolibdat dan 7 ml akuades. Selanjutnya dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang (λ) 540 nm (Sudarmadji dkk., 1984).

5) Tahap Pembuatan Starter

Ditimbang gula pasir sebanyak 5 gram dan ditambahkan akuades dalam labu takar 50 ml hingga batas tera (Kusnadi dkk., 2009). Kemudian diatur pH larutan tersebut dan ditambahkan dengan ragi roti sebanyak 2,5 gram, diaduk hingga larut dan didiamkan selama 24 jam (Kristiani, 2013).

6) Tahap Fermentasi Sampel

Tahap fermentasi dilakukan dengan 3 variasi yaitu derajat keasaman (pH), kadar ragi, dan waktu fermentasi. Fermentasi pertama yang dilakukan yaitu untuk mengetahui pengaruh derajat keasaman (pH) terhadap kadar etanol yang dihasilkan. Sampel masing-masing sebanyak 500 ml dicampurkan dengan starter 50 ml yang telah didiamkan selama 24 jam. Kemudian ditambahkan dengan serbuk kulit bakau (*Xylocarpus sp.*) sebanyak 7,5 gram pada sampel, kemudian diaduk hingga merata (Kristiani, 2013). Pemberian serbuk kulit bakau bertujuan untuk menghambat laju perubahan alkohol yang terbentuk menjadi senyawa asam. Selanjutnya diatur pH-nya dengan menambahkan larutan HCl 0,1 M (Wignyanto dkk., 2001). Variasi derajat keasaman (pH) yang digunakan yaitu 4,0; 4,5; 5,0; dan 5,5. Setelah derajat keasaman (pH) tercapai dimasukkan ke dalam fermentor yang tertutup dan selanjutnya larutan difermentasi secara anaerob pada suhu kamar (Kusumaningati dkk., 2013). Fermentasi kedua dilakukan untuk mengetahui pengaruh kadar ragi (1,0; 1,5; 2,0; 2,5; dan 3,0 gram), dan yang ketiga untuk variasi waktu fermentasi. Sampel difermentasi dengan variasi waktu fermentasi selama 3 hari, 4 hari, 5 hari, 6 hari dan 7 hari.

7) Tahap Destilasi

Tahap destilasi merupakan tahap pemisahan campuran etanol air. Sampel hasil fermentasi sebanyak 550 ml dimasukkan ke dalam labu ditambahkan batu didih yang dilengkapi termometer untuk mengukur titik didih larutan. Selanjutnya, suhu diatur 78°C yang merupakan titik didih etanol dan destilat ditampung di dalam Erlenmeyer. Destilat yang dihasilkan kemudian diukur volumenya dan ditentukan kadar etanolnya dengan menggunakan metode berat jenis.

8) Tahap Penentuan Kadar Etanol

Kadar etanol yang dihasilkan diukur dengan menggunakan metode berat jenis. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan piknometer 10 ml. Pengukuran kadar etanol hasil destilasi diukur dengan cara ditimbang terlebih dahulu piknometer kosong. Kemudian, piknometer tersebut diisi dengan aquades dan ditimbang kembali. Dilakukan hal yang sama dengan mengganti aquades dengan cairan hasil destilasi ([Primadevi & Kresnadipayana, 2016](#)). Berat jenis etanol ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penyiapan Sampel

Sayuran yang digunakan untuk pembuatan bioetanol dalam penelitian ini adalah sayuran

$$\rho = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1}$$

Keterangan:

W₁ = Berat piknometer kosong
W₂ = Berat piknometer + aquades
W₃ = Berat piknometer + berat etanol
 ρ = berat jenis etanol

yang diambil dari beberapa pasar. Secara fisik, limbah sayur yang dipilih yaitu telah layu dan mengalami perubahan warna. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan [Lestari \(2016\)](#), limbah sayuran dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembuatan bioetanol sebab sayuran mengandung selulosa yang dapat dikonversi menjadi glukosa. Tahap awal dalam penyiapan sampel adalah dilakukan pencucian limbah sayur hingga bersih agar tidak ada kotoran yang menempel. Sampel limbah sayuran dicacah untuk mempercepat proses pengeringan, dijemur di bawah sinar matahari untuk menghilangkan kandungan air ([Kusumaningati dkk., 2013](#)). Ciri dari sayuran yang telah kering yaitu telah berubah warna menjadi cokelat kehijauan dan mudah dihancurkan.

Tahap selanjutnya adalah proses menghaluskan sayuran yang telah kering menjadi serbuk menggunakan blender kemudian diayak dengan ayakan ukuran 45 mesh. Proses ini bertujuan memperkecil ukuran substrat untuk meningkatkan luas permukaan kontak antara substrat dengan pelarut. Semakin

kecil ukuran substrat, maka akan mempermudah terdegradasinya lignin sehingga selulosa dan hemiselulosa akan terhidrolisis secara optimal. Pengayakan dilakukan agar diperoleh serbuk sayuran yang memiliki tingkat kehalusan yang sama ([Johantika, 2002](#)).

B. Proses Hidrolisis

Pemecahan struktur pati, lignin, maupun selulosa dalam suatu bahan bertujuan untuk memecah ikatan alfa atau beta glikosida dalam suatu bahan pangan atau bahan organik seperti limbah pasar yang berupa sayuran menggunakan asam, air atau mikroba melalui proses hidrolisis. Dengan proses hidrolisis dapat menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa dengan merusak struktur kristal dari selulosa atau lignin dengan meningkatkan porositas bahan ([Sun & Cheng, 2002](#)). Konversi selulosa menjadi glukosa sangat dipengaruhi oleh waktu hidrolisis. Semakin lama waktu proses, maka kesempatan selulosa melakukan dekomposisi lebih lama. Tetapi kenaikan waktu yang lebih lama juga tidak begitu berpengaruh pada kadar glukosa yang dihasilkan.

Rusaknya struktur kristal selulosa atau lignin akan mempermudah terurainya selulosa menjadi glukosa. Selanjutnya, senyawa gula sederhana tersebut yang akan difermentasi oleh mikroba menghasilkan etanol ([Osvaldo dkk., 2012](#)). Penggunaan air sebagai pelarut penghidrolisis dalam upaya memecah selulosa atau lignin pada bahananakan berlangsung lebih lama dibandingkan dengan hidrolisis menggunakan asam kuat. Untuk mempercepat proses hidrolisis menggunakan pelarut air maka dilakukan pada suhu di atas suhu kamar yaitu pada suhu didih air yaitu 100°C.

Kadar glukosa yang diperoleh melalui hidrolisis pada penelitian ini sebesar 11,87%, belum memenuhi kadar glukosa yang baik untuk fermentasi alkohol karena kadar glukosa belum memenuhi persyaratan untuk fermentasi alkohol, maka ditambahkan gula pasir pada pembuatan starter. [Hidayati dkk. \(2016\)](#) melakukan hidrolisis limbah buah-buahan kulit pepaya, mangga, jeruk, dan kulit pisang secara enzimatik menghasilkan kadar glukosa sebesar 0,0445 M. Hasil penelitian lain menggunakan hidrolisis air pada suhu 110°C selama 120 menit dengan katalis arang aktif tersulfonasi

menghasilkan kadar glukosa sebesar 11,7642% ([Anggraeni dkk., 2013](#)).

Perbandingan berat sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kangkung sebanyak 25 gram, sawi 15 gram dan wortel sebanyak 10 gram dalam setiap kali refluks. Kandungan karbohidrat per 100 gram kangkung yaitu sebanyak 5,4 gram ([Muchtadi, 2001](#)). Kandungan karbohidrat sawi yaitu sebanyak 4 gram ([Haryanto dkk., 1995](#)). Kandungan karbohidrat wortel dalam 100 gram sebanyak 14 gram ([DepKes RI, 2005](#)).

C. Pengaruh Derajat Keasaman (pH)

Proses fermentasi sampel dilakukan pada kondisi derajat keasaman (pH) tertentu sesuai dengan kondisi pH yang dibutuhkan oleh mikroba untuk tumbuh. Kadar etanol yang dihasilkan dengan variasi pH dengan lama fermentasi 6 hari ditunjukkan Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 dapat dijelaskan bahwa kadar etanol yang dihasilkan dari fermentasi limbah sayuran dipengaruhi oleh kondisi derajat keasaman (pH). Peningkatan kadar etanol terjadi pada pH 4,0 sampai 4,5 kemudian menurun pada pH 5,0 sampai 5,5. Kadar etanol tertinggi yang diperoleh yaitu pada pH 4,5 sebesar 8,75%. Kadar etanol terendah

Tabel 1.
Pengaruh Derajat Keasaman (pH) terhadap Kadar Etanol yang dihasilkan dengan penambahan serbuk kulit bakau 7,5 gram

Variasi pH	Kadar Etanol (%)
4,0	6,36
4,5	8,75
5,0	7,55
5,5	6,77

diperoleh pada pH 4,0 yaitu sebesar 6,36%.

Berdasarkan data pada Tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa kadar etanol paling tinggi dihasilkan pada pH 4,5. Hal tersebut menunjukkan bahwa aktivitas enzim pada pH tersebut maksimum. Hasil tersebut juga sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh [Elevri & Putra \(2006\)](#) serta [Safitrie dkk. \(2015\)](#) bahwa produksi etanol paling maksimum dapat dicapai pada pH 4,5. Pada kondisi pH 4,0 kadar

etanol masih sebesar 6,36%. Kadar etanol yang rendah pada pH 4,0 dimungkinkan khamir mengubah glukosa menjadi etanol akan tetapi aktivitasnya tidak maksimum. Menurut [Winarno \(1984\)](#) bahwa pH optimum pertumbuhan khamir *Saccharomyces cerevisiae* yaitu pada pH 4,0-5,0.

Kondisi fermentasi pada pH 5,0 dan 5,5 kadar etanol yang dihasilkan juga rendah yang disebabkan karena adanya penurunan aktivitas enzim. Terjadi penurunan kadar etanol pada pH 5,0 yang menunjukkan adanya aktivitas khamir mengubah glukosa menjadi etanol namun aktivitasnya tidak maksimum lagi, hal yang sama juga terjadi pada kondisi pH 5,5 adanya aktivitas enzim yang kurang sehingga dihasilkan etanol juga yang rendah. Menurut [Safitrie dkk. \(2015\)](#) bahwa penurunan kadar etanol terjadi karena apabila telah mencapai titik optimumnya maka kadar etanol cenderung menurun apabila telah mencapai kadar etanol optimum yang dihasilkan pada proses fermentasi.

Kondisi pH atau daerah pH yang menyebabkan kecepatan reaksi paling tinggi, pH tersebut dinamakan dengan pH optimum ([Atmodjo, 2017](#)). Enzim akan bekerja efektif dalam mengkatalisis suatu reaksi bila pH larutan optimum ([Sunarya, 2012](#)). pH yang kurang sesuai bagi pertumbuhan mikroba akan mengakibatkan kerusakan atau tidak aktifnya protein dalam suatu enzim sehingga menyebabkan fungsi dan aktivitas enzim akan berkurang ([Budiman, 2009](#)).

Pembentukan etanol dari gula dilakukan oleh enzim-enzim yang dihasilkan oleh pertumbuhan khamir. Menurut [Azizah \(2012\)](#) setiap enzim akan memiliki aktivitas tertinggi pada pH optimumnya. Pada pH optimum akan terbentuk ion H⁺ dan OH⁻ yang tepat untuk reaksi enzimatis dalam membentuk produk. Pada penelitian ini, aktivitas *Saccharomyces cerevisiae* menurun pada pH di atas dan di bawah pH optimum. Pada pH rendah dan pH tinggi terdapat kelebihan ion H⁺ dan OH⁻ yang mempengaruhi reaksi enzim dan substrat. Sehingga, kecepatan enzimatik antara enzim dan substrat untuk menghasilkan produk (etanol) akan berkurang. Pada kondisi di bawah pH optimum, terdapat kelebihan ion H⁺ dalam lingkungan enzim tersebut. Hasil penelitian [Le & Le \(2014\)](#) melaporkan bahwa kondisi terbaik

untuk pertumbuhan mikroba pada fermentasi gula dari bimassa menjadi alkohol terjadi pada pH 4,5. Pada kondisi ini katabolisme substrat oleh khamir dimulai dengan pemecahan glukosa yang terdapat dalam substrat bersangkutan. Pada tahap ini tidak terjadi perubahan potensial oksidasi-reduksi pada substrat dan pertukaran energi sangat kecil. Untuk melangsungkan berbagai aktivitas tersebut diperlukan energi dalam jumlah besar. Khamir dalam kondisi pH yang optimal mampu mencerna sejumlah nutrien yang beratnya sama dengan beratnya sendiri dalam setiap beberapa detik untuk memenuhi jumlah energi yang dibutuhkan.

Pada kondisi yang asam yaitu pH < 4,5 menyebabkan akan lebih banyak terdapat residu dalam larutan atau bahan yang difermentasi sehingga aktivitas mikroba *Saccharomyces cerevisiae* menjadi berkurang karena termobilisasi dalam residu. Selain itu mikroba pada kondisi yang lebih asam menyebabkan aktivitasnya juga menjadi berkurang. Selanjutnya, enzim akan menangkap ion H⁺ berlebih tersebut akibatnya enzim berada dalam keadaan kation. Sedangkan pada kondisi di atas pH optimum, maka ada kelebihan ion OH dalam lingkungan enzim tersebut sehingga enzim akan melepaskan ion-ion H⁺ akibatnya enzim berada dalam keadaan anion. Adanya kelebihan ion H⁺ dan OH⁻ berpengaruh juga terhadap perubahan konformasi enzim sehingga mengakibatkan aktivitas enzim menurun (Marwati, 2014).

Ketika pH ditingkatkan, maka laju pertumbuhan akan menurun dan akhirnya pertumbuhan berhenti sama sekali. Berhentinya pertumbuhan dapat disebabkan karena berkurangnya beberapa nutrien esensial dalam medium, atau karena terjadinya akumulasi autotoksin dalam medium atau kombinasi dari keduanya. Produk etanol akan mulai turun sampai fermentasi mendekati pH 5.

D. Pengaruh Waktu Fermentasi

Tujuan perlakuan pada sampel selanjutnya adalah untuk mengetahui kondisi waktu fermentasi yang optimum sehingga dapat diperoleh kadar etanol yang tinggi. Peningkatan kadar etanol terjadi pada waktu fermentasi selama 3 sampai 7 hari. Tabel 2 menunjukkan data hasil pengukuran kadar etanol sampel dengan variasi waktu fermentasi pada kondisi

fermentasi pH optimum yaitu 4,5 seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Selain derajat keasaman (pH), waktu fermentasi juga berpengaruh terhadap kadar etanol yang dihasilkan. Semakin lama waktu fermentasi, maka kadar etanol yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Namun, bila waktu fermentasi terlalu lama maka nutrisi dalam substrat akan habis dan khamir tidak lagi dapat memfermentasi bahan (Kusumaningati dkk., 2013).

Berdasarkan Tabel 2 waktu fermentasi yang menghasilkan kadar etanol tertinggi yaitu pada hari ke-6 yaitu sebesar 9,57%. Sedangkan kadar etanol terendah diperoleh pada waktu fermentasi selama 3 hari yaitu sebesar 4,51%. Dari gambar 4.4 dapat diketahui bahwa semakin lama waktu fermentasi maka kadar etanol yang dihasilkan semakin meningkat. Proses fermentasi ini dapat terus berlangsung dengan memanfaatkan glukosa sebagai sumber energi dalam siklus glikolisis yang menghasilkan piruvat. Kemudian katabolisme piruvat secara anaerob akan menghasilkan etanol dan CO₂.

Tabel 2.

Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Kadar Etanol yang dihasilkan dengan penambahan serbuk kulit bakau 7,5 gram

Variasi Waktu (Hari)	Kadar Etanol (%)
3	4,51
4	4,88
5	6,36
6	9,57
7	8,34

Maka, dimungkinkan dengan konsentrasi ragi (mikroba) akan didapatkan kadar etanol yang lebih besar dengan waktu fermentasi yang lebih lama.

Kadar etanol pada hari ke 3 masih rendah yaitu sebesar 4,51%. Hal ini disebabkan karena *Saccharomyces cerevisiae* baru mulai memperbanyak diri dengan memanfaatkan glukosa hasil hidrolisis (Loebis dkk., 2015). Pada fermentasi selama 3 hari, mikroba yang tumbuh hanya sedikit dikarenakan *Saccharomyces cerevisiae* masih dalam fase pertumbuhan awal. Fase pertumbuhan awal merupakan fase di mana mikroba membelah dengan kecepatan

yang rendah karena baru mulai menyesuaikan diri. Dengan demikian gula yang ada dalam substrat belum banyak yang terfermentasi dan masih berada sebagai gula substrat dan meningkat sejalan dengan lamanya waktu fermentasi. Sedangkan fermentasi selama 4, 5 dan 6 hari kadar etanol yang dihasilkan terus meningkat, hal tersebut menunjukkan bahwa glukosa yang tersedia masih banyak sehingga proses pembelahan dan aktivitas mikroba berjalan dengan baik sehingga etanol yang dihasilkan juga banyak ([Zakariah dkk., 2015](#)). Hasil ini juga sesuai dengan penelitian [Fahrizal dkk. \(2013\)](#) bahwa semakin lama waktu fermentasi kadar etanol yang dihasilkan juga semakin tinggi sampai pada waktu optimal. Selanjutnya setelah waktu optimal kadar alkohol yang dihasilkan mengalami penurunan. Lama fermentasi optimal untuk etanol dari aren adalah 5 hari dengan kadar etanol sebesar 4,3%.

Fermentasi alkohol dapat terjadi apabila terdapat sejumlah nutrisi berupa gula yang dapat dirombak oleh mikroba dalam kondisi yang memungkinkan tumbuh dan berkembangnya mikroba tersebut ([Moede dkk., 2017](#)). Beberapa fase pertumbuhan mikroba yaitu fase adaptasi, fase pertumbuhan awal, fase pertumbuhan logaritmik, fase pertumbuhan lambat, fase pertumbuhan tetap dan fase kematian. Pada fase adaptasi mikroba masih menyesuaikan diri dengan lingkungan medium, sedangkan pada fase pertumbuhan awal mikroba membelah dengan kecepatan yang rendah karena baru mulai beradaptasi. Pada fase pertumbuhan logaritmik atau fase tumbuh cepat di mana mikroba membelah dengan cepat dan konstan. Di dalam fase ini terjadi pemecahan gula secara besar-besaran guna memenuhi kebutuhan pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae*, Hasil pemecahan gula oleh *Saccharomyces cerevisiae* dalam keadaan anaerob menghasilkan alkohol. Kemungkinan dihasilkan alkohol paling tinggi pada fase ini. Mikroba kemudian mengalami pertumbuhan lambat yang disebut sebagai fase pertumbuhan lambat, kemudian, pada fase pertumbuhan tetap menunjukkan jumlah *Saccharomyces cerevisiae* yang hidup sebanding dengan jumlah yang mati, jumlah sel mikroba tetap dan mikroba memasuki fase kematian disebabkan karena nutrisi di dalam medium telah habis ([Safitri dkk., 2016](#)).

Tujuan penelitian ini adalah membuat suatu kondisi untuk memaksimalkan pertumbuhan dari *Saccharomyces cerevisiae* dalam mengurai glukosa menjadi etanol serta menekan pertumbuhan bakteri asam dalam mengurai etanol hasil fermentasi menjadi asam asetat. Hal ini disebabkan karena pada fermentasi alami setelah etanol terbentuk, maka bakteri asam akan tumbuh dan berkembang jika terpapar udara bebas atau kondisi aerob.

Kadar etanol yang dihasilkan selama 3 sampai 6 hari terus meningkat, menurut [Kusumaningati dkk. \(2013\)](#) hal tersebut dimungkinkan karena terdapat nutrisi yang menunjang kehidupan khamir. Sehingga, sel khamir akan tumbuh dan membelah secara eksponensial sampai jumlah yang maksimal atau masih memasuki fase logaritmik. Pada fase tersebut, sel khamir membelah dengan cepat, di mana kecepatan pertumbuhan sangat dipengaruhi oleh kandungan nutrisi, pH, suhu dan beberapa faktor lainnya ([Suprihatin, 2010](#)). Pada waktu fermentasi selama 7 hari kadar etanol yang dihasilkan menurun, hal ini dapat disebabkan karena glukosa yang tersedia sebagai nutrisi bagi mikroba berkurang.

Dalam hal ini, mikroba sudah memasuki fase pertumbuhan lambat yaitu disebabkan karena nutrisi dalam medium mulai berkurang atau dapat disebabkan karena adanya hasil metabolisme yang mungkin beracun atau dapat menghambat pertumbuhan mikroba ([Suprihatin, 2010](#)). Selain itu, kadar etanol yang mulai menurun juga dimungkinkan karena etanol mengalami fermentasi lanjutan membentuk asam asetat. Faktor yang lain adalah bertambahnya waktu fermentasi akan meningkatkan produksi CO₂ yang berbanding terbalik dengan kadar alkohol. Gas yang dihasilkan pada proses fermentasi alkohol oleh *Saccharomyces cerevisiae* dapat menghambat aktivitas dari *Saccharomyces cerevisiae* itu sendiri sehingga kadar alkoholnya menurun. Semakin lama proses fermentasi maka gas CO₂ yang terbentuk juga akan semakin banyak. Kondisi ini tidak baik untuk pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* dan juga untuk proses fermentasi bioetanol. Menurut [Datar dkk. \(2004\)](#), dengan adanya produksi gas selama proses fermentasi maka pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* akan berhenti

meskipun *Saccharomyces cerevisiae* masih dalam keadaan hidup.

E. Pengaruh Kadar Ragi

Produk alkohol yang dihasilkan melalui fermentasi salah satunya dipengaruhi oleh jumlah ragi yang ditambahkan dalam substrat fermentasi. Untuk memproduksi alkohol dari pati dan gula digunakan ragi (*Saccharomyces cerevisiae*). Proses fermentasi sama dengan pH optimum untuk proses pertumbuhan khamir yaitu pH 4,0-4,5. Etanol dihasilkan dari gula yang merupakan hasil aktivitas fermentasi sel khamir. Khamir yang baik digunakan untuk menghasilkan etanol adalah dari genus *Saccharomyces*. Kriteria pemilihan khamir untuk produksi etanol adalah mempunyai laju fermentasi dan laju pertumbuhan cepat, perolehan etanol banyak, tahan terhadap konsentrasi etanol dan glukosa tinggi, tahan terhadap konsentrasi garam tinggi, pH optimum serta fermentasi rendah, temperatur optimum fermentasi (Hanum dkk., 2013). Kadar alkohol yang dihasilkan pada kadar ragi yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 3.

Berdasarkan data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa kadar ragi atau jumlah ragi yang ditambahkan mempengaruhi kadar alkohol yang dihasilkan. Semakin banyak ragi yang ditambahkan maka jumlah alkohol yang dihasilkan juga semakin banyak sampai pada kondisi optimum yaitu penambahan 2,5 gram ragi roti. Kondisi optimum penambahan ragi menyebabkan pertumbuhan mikroba berada pada kurva maksimal dengan laju produksi maksimal (Walker & Stewart, 2016). Pada kadar ragi yang rendah jumlah alkohol yang dihasilkan juga masih lebih rendah. Hal ini disebabkan karena jumlah gula dalam substrat tidak semuanya terfermentasi oleh mikroba

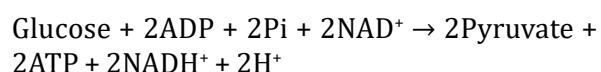
Tabel 3.

Kadar Alkohol yang dihasilkan pada Variasi Kadar Ragi dengan penambahan serbuk kulit bakau 7,5 gram

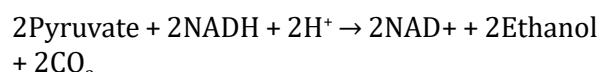
Variasi Ragi (gram)	Kadar Etanol (%)
1,0	5,32
1,5	6,43
2,0	7,66
2,5	9,57
3,0	8,31

Saccharomyces cerevisiae. Atau dengan kata lain jumlah mikroba atau khamir yang ditambahkan tidak sebanding dengan jumlah gula dalam substrat. Sebaliknya pada konsentrasi atau penambahan yang terlalu banyak menyebabkan jumlah khamir yang ada dalam substrat terlalu banyak. Akibatnya tidak semua mikroba yang ada dalam substrat bekerja untuk merombak glukosa menjadi etanol. Jumlah mikroba yang terlalu banyak dapat menimbulkan persaingan antar mikroba untuk merombak glukosa menjadi alkohol, dan cenderung persaingan yang berakibat tidak efektifnya mikroba untuk bekerja.

Reaksi glukosa menjadi alkohol oleh mikroba *Sacharomyces cerevisiae* ditunjukkan pada reaksi berikut:



Dengan enzim piruvat dekarboksilase asam piruvat diubah menjadi alkohol dan karbon dioksida melalui reaksi:



(Handayani dkk., 2016)

Kadar etanol dari limbah sayur dengan penambahan mikroba pada pH optimum merupakan kondisi penggunaan konversi gula reduksi dan air yang mendukung terjadinya peristiwa fermentasi secara enzimatis yang dihasilkan dalam limbah sayur. Kondisi fermentasi alami tanpa penambahan bakteri atau mikroba, gula reduksi cenderung terkonversi menjadi asetaldehid dan beberapa metabolit lain.

Pada kondisi anaerobik, mikroba yang digunakan seperti *Saccharomycess cereviceae* menggunakan senyawa organik sebagai akseptor elektron terakhir pada jalur reaksi bioenergetik. Dalam hal ini yang digunakan adalah glukosa dari substrat dengan hasil akhir perombakan berupa alkohol/etanol, aldehid, asam organik, dan fessel oil (Lidya & Djenar, 2000). *Saccharomyces cerevisiae* merupakan mikroba yang paling baik untuk fermentasi etanol karena relatif lebih efisien mengubah gula menjadi etanol dan lebih toleran terhadap etanol bila dibandingkan dengan mikroba lain (Lin dkk., 2014). Jika tujuan penggunaan *Saccharomyces cerevisiae* adalah untuk menghasilkan alkohol

maka dibutuhkan kondisi anaerob, tetapi untuk pembuatan starter (biakan awal) diperlukan kondisi aerob (Yumas & Rosniati, 2014). *Saccharomyces cerevisiae* juga menghasilkan enzim glukoamilase, agar dihasilkan gula reduksi yang lebih banyak yang akan dirombak menjadi alkohol (Putri dkk., 2016).

IV. KESIMPULAN

Limbah sayuran di pasar (kangkung, sawi, dan wortel) dapat dijadikan sebagai bahan pembuatan alkohol melalui proses hidrolisis menggunakan pelarut dan fermentasi menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae*. Kadar alkohol yang dihasilkan dipengaruhi oleh derajat keasaman (pH), kadar ragi yang ditambahkan (jumlah mikroba), dan waktu fermentasi. Kondisi terbaik fermentasi diperoleh ada pH 4,5, kadar ragi 2,5 gram, dan lama fermentasi 6 hari dengan penambahan serbuk kulit bakau 7,5 gram pada volume sampel hidrolisis 500 ml dan volume starter 50 ml.

Saran, perlu pemanfaatan limbah pasar terutama limbah sayuran menjadi produk lain seperti dikonversi menjadi alkohol atau substitusi menjadi bahan pakan ternak agar lingkungan pasar menjadi lebih bersih dan sehat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Jurusan Pendidikan Kimia FKIP UHO atas fasilitas yang disediakan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dan terselesaikan.

V. REFERENSI

- Abdullah, & Ariyanti, D. (2012). Enhancing Ethanol Production by Fermentation Using *Saccharomyces cerevisiae* under Vacuum Condition in Batch Operation. *International Journal of Renewable Energy Development*, 1(1), 6-9. <https://doi.org/10.14710/ijred.1.1.6-9>
- Anggraeni, P., Addarojah, Z., & Anggoro, D. D. (2013). Hidrolisis Selulosa Eceng Gondok (*Eichhornia crassipe*) Menjadi Glukosa dengan Katalis Arang Aktif Tersulfonasi. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(3), 63-69.
- Atmodjo, K. (2017). Optimalisasi Gula Cair dan pH Medium untuk Fermentasi Alkohol dari Jus Curcuma xanthorrhiza. *Biota*, 2(3), 97-104. <https://doi.org/10.24002/biota.v3i2.1885>
- Azizah, N., Al-Baari, A. N., & 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. <https://jatp.ift.or.id/index.php/jatp/article/view/73>
- Budiman. (2009). *Masalah Kesehatan Akibat Alkohol dan Merokok* (1 ed.). Interna Publishing.
- Damayanti, V., Oktiawan, W., & Sutrisno, E. (2017). Pengaruh Penambahan Limbah Sayuran terhadap Kandungan C-Organik dan Nitrogen Total dalam Vermicomposting Limbah Rumen dari Sapi Rumah Potong Hewan (RPH). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 1-14.
- Datar, R. P., Shenkman, R. M., Cateni, B. G., Huhnke, R. L., & Lewis, R. S. (2004). Fermentation of biomass-generated producer gas to ethanol. *Biotechnology and Bioengineering*, 86(5), 587-594. <https://doi.org/10.1002/bit.20071>
- DepKes RI. (2005). *Daftar Komposisi Bahan Makanan*. Depkes RI.
- Deshpande, D. P., Adwant, A. V., & Hakke, V. S. (2015). Conversion of Vegetable Waste in to Ethanol. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, 5(2), 327-333. www.ijlte.org/journal_details.php?id=885&j_id=2063
- Elevri, P. A., & Putra, S. R. (2006). Produksi Etanol Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* yang Diamobilisasi dengan Agar Batang. *Akta Kimindo*, 1(2), 105-114.
- Fahrizal, Abubakar, Y., Muzaifa, M., & Muslim. (2013). The Effects of Temperature and Length of Fermentation on Bioethanol Production from Arenga Plant (Arenga pinnata Merr). *International Journal on Advanced Science Engineering Information*

- Technology (IJASEIT), 3(3), 54–57.*
- Felix S., A., S. B. U., P., & Ikhsan, D. (2012). Pembuatan Biogas dari Sampah Sayuran. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 1(1), 103–108. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtki/article/viewFile/406/406>
- Gosavi, P., Chaudhary, Y., & Durve-Gupta, A. (2017). Production of Biofuel from Fruits and Vegetable Wastes. *European Journal of Biotechnology and Bioscience*, 5(3), 69–73.
- Handayani, S. S., Hadi, S., & Patmala, H. (2016). Fermentasi Glukosa Hasil Hidrolisis Buah Kumbi untuk Bahan Baku Bioetanol. *JURNAL PIJAR MIPA*, XI(1), 28–33. <https://doi.org/10.29303/jpm.v11i1.5>
- Hanum, F., Pohan, N., Rambe, M., Primadony, R., & Ulyana, M. (2013). Pengaruh Massa Ragi dan Waktu Fermentasi terhadap Bioetanol dari Biji Durian. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(4), 49–54.
- Haryanto, E., Suhartini, T., Rahayu, E., & Sunarjono, H. (1995). *Sawi dan Selada. Penebar Swadaya*.
- Hidayati, R. N., Qudsi, P., & Wicaksono, D. R. (2016). Hidrolisis Enzimatis Sampah Buah-buahan Menjadi Glukosa sebagai Bahan Baku Bioetanol. *Konversi*, 5(1), 20–23. <https://doi.org/10.20527/k.v5i1.4773>
- Irawan, D., & Arifin, Z. (2010). Pemanfaatan Sampah Organik Kota Samarinda Menjadi Bioetanol: Klasifikasi dan Potensi. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010*. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010, Semarang. <http://eprints.undip.ac.id/19471/>
- Johantika, E. E. (2002). *Pemanfaatan Kangkung Darat (Lpomea Reptans poir) dalam Pembuatan Biskuit Tinggi Serat Makanan* [Skripsi, Institut Pertanian Bogor]. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/16449>
- Kartikasari, D. I., & Nisa, F. C. (2014). Pengaruh Penambahan Sari Buah Sirsak dan Lama Fermentasi terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Yoghurt. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 2(4), 239–248. <https://jpa.ub.ac.id/index.php/jpa/article/view/96>
- Kristiani, P. (2013). *Pengaruh Penambahan Ragi Tape terhadap Kadar Alkohol Hasil Fermentasi Cairan Pulp Kakao (Theobroma cacao, L.) Menggunakan Kulit Bakau*. Universitas Halu Oleo.
- Kusnadi, Syulasmi, A., & Adisendjaja, Y. H. (2009). *Pemanfaatan Sampah Organik sebagai Bahan Baku Produksi Bioetanol sebagai Energi Alternatif*. Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Kusumaningati, M. A., Nurhatika, S., & 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), 218–223. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v2i2.4298>
- Le, H. D. T., & Le, V. V. M. (2014). Effects of Initial pH Value of the Medium on the Alcoholic Fermentation Performance of *Saccharomyces cerevisiae* Cells Immobilized on Nipa Leaf Sheath Pieces. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 36(6), 663–667. https://www.researchgate.net/publication/283565407_Effects_of_initial_pH_value_of_the_medium_on_the_alcoholic_fermentation_performance_of_Saccharomyces_cerevisiae_cells_immobilized_on_nipa_leaf_sheath_pieces
- Lestari, I. (2016). *Biokonversi Ekstrak Limbah Sayur dari Pasar Induk Osowilangan Surabaya (PIOS) menjadi Bioetanol Menggunakan Saccharomyces cerevisiae* [Skripsi, Universitas Airlangga]. <http://repository.unair.ac.id/33136/>
- Lidya, B., & Djener, N. S. (2000). *Dasar Bioproses*. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional.
- Lin, Y., Zhang, W., Li, C., Sakakibara, K., Tanaka, S., & Kong, H. (2014). Factors Affecting Ethanol Fermentation Using *Saccharomyces cerevisiae* BY4742. *Biomass and Bioenergy*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.019>
- Liu, X., Jia, B., Sun, X., Ai, J., Wang, L., Wang, C., Zhao, F., Zhan, J., & Huang, W. (2015). Effect

- of Initial pH on Growth Characteristics and Fermentation Properties of *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Food Science*, 80(4), 800–808. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12813>
- Loebis, E. H., Meutia, Y. R., Junaidi, L., & Alamsyah, R. (2015). Proses Delignifikasi Limbah Pasar untuk Produksi Bioetanol. *Warta IHP/Journal of Agro-based Industry*, 32(2), 68–74. <https://doi.org/10.32765/warta%20ihp.v32i02.2639>
- Malhotra, G., C. S., & Chanchal. (2013). Alcohol Production from Fruit and Vegetable Waste. *International Journal of Applied Engineering Research*, 8(15), 1749–1756.
- Marwati, E. I. (2014). Pengaruh Derajat Keasaman (pH) Fermentasi Cairan Pulp Kakao (*Theobroma cacao, L.*) terhadap Kadar Alkohol Menggunakan Kulit Bakau (*Xylocarpus sp.*). Universitas Halu Oleo.
- Merina, F., & Trihadiningrum, Y. (2011). Produksi Bioetanol dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan Zymomonas mobilis dan *Saccharomyces cerevisiae*. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XIII*. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XIII, Surabaya.
- Moede, F. H., Gonggo, S. T., & Ratman. (2017). Pengaruh Lama Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol dari Pati Ubi Jalar Kuning (*Ipomea batata L.*). *Jurnal Akademika Kimia*, 6(2), 86–91. <https://doi.org/10.22487/j24775185.2017.v6.i2.9238>
- Muchtadi, D. (2001). Sayuran sebagai Sumber Serat Pangan untuk Mencegah Timbulnya Penyakit Degeneratif. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 12(1), 61–71. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/29813>
- Osvaldo, Z. S., Panca Putra, S., & Faizal, M. (2012). Pengaruh Konsentrasi Asam dan Waktu pada Proses Hidrolisis dan Fermentasi Pembuatan Biotenaol dari Alang-alang. *Jurnal Teknik Kimia*, 2(18), 52–62.
- Primadevi, S., & Kresnadipayana, D. (2016). Penetapan Kadar Etanol pada Minuman Beralkohol Berbagai Merk melalui Pengukuran Berat Jenis. *Biomedika*, 9(1), 71–74.
- Putri, S. A., Fajar, R., & Rahmayuni. (2016). Hubungan Antara Kadar Gula Reduksi, Jumlah Sel Mikrob dan Etanol dalam Produksi Bioetanol dari Fermentasi Air Kelapa dengan Penambahan Urea. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Riau*, 3(2), 1–8.
- Richana, N. (2011). *Bioetanol: Bahan Baku, Teknologi, Produksi dan Pengendalian Mutu*. Penerbit Nuansa.
- Safitri, N., Sunarti, T. C., & Meryandini, A. (2016). Formula Media Pertumbuhan Bakteri Asam Laktat *Pediococcus pentosaceus* Menggunakan Substrat Whey Tahu. *Jurnal Sumberdaya Hayati*, 2(2), 31–38. <https://doi.org/10.29244/jsdh.2.2%25p>
- Safitrie, G. S., Safitri, E. M., & Putra, M. D. (2015). Pemanfaatan Kulit Cempedak sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol dengan Proses Fermentasi Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. *Konversi*, 4(2), 52–60. <https://doi.org/10.20527/k.v4i2.267>
- Santoso, A. M., & Manan, A. (2015). Pakan Alternatif dari Limbah Sayuran untuk Ikan Nila Hitam (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 7(1), 35–37. <https://doi.org/10.20473/jipk.v7i1.11229>
- Sudarmadji, S., Suhardi, & Haryono, B. (1984). *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Liberty bekerja sama dengan Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi Universitas Gajah Mada.
- Sun, Y., & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: A Review. *Bioresource Technology*, 83(2002), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)
- Sunarya, Y. (2012). *Kimia Dasar 2*. Yrama Widya.
- Suprihatin. (2010). *Teknologi Fermentasi*. Unesa Press.
- Walker, G., & Stewart, G. (2016). *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Fermented Beverages. *Beverages*, 2(30), 1–12. <https://doi.org/10.3390/beverages2010030>

doi.org/10.3390/beverages2040030

- Wignyanto, Suharjono, & Novita. (2001). Pengaruh Konsentrasi Gula Sari Hati Nanas dan Inokulum *Saccharomyces cerevisiae* pada Fermentasi Etanol. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 2(1), 68–77. <https://jtp.ub.ac.id/index.php/jtp/article/view/111>
- Winarno, F. G. (1984). *Pengantar Teknologi Pangan*. Gramedia.
- Yumas, M., & Rosniati. (2014). Pengaruh

Konsentrasi Starter dan Lama Fermentasi Pulp Kakao Terhadap Konsentrasi Etanol. *Biopropal Industri*, 5(1), 13–22.

- Zakariah, M. A., Utomo, R., & Bacruddin, Z. (2015). Pengaruh Inokulum Campuran *Lactobacillus plantarum* dan *Saccharomyces cerevisiae* Terhadap Kualitas Organoleptik, Fisik, dan Kimia Silase Kulit Buah Kakao. *Buletin Peternakan*, 39. <https://doi.org/10.21059/buletinpeternak.v39i1.6152>