



Fermentasi Etanol Sari Buah Semu Jambu Mete (*Anacardium occidentale* L.) oleh *Zymomonas mobilis* dengan Penambahan Urea

Ethanol fermentation from cashew juice (Anacardium occidentale L.) by Zymomonas mobilis using urea

ETRIN SAPARIANTIN, TJAHHADI PURWOKO[♥],
RATNA SETYANINGSIH

Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta 57126.

Diterima: 11 September 2005. Disetujui: 10 Nopember 2005.

ABSTRACT

Cashew present in abundant amount in Indonesia but they had not much been exploited. This research was to study ethanol fermentation from cashew juice by *Zymomonas mobilis* using urea as nitrogen source. The aims of this research was to know the best urea concentration and optimum fermentation duration to produce the highest content of ethanol in ethanol fermentation from cashew juice by *Z. mobilis*. The urea concentration in media was prepared 0%; 0.2% and 0.4%. The media cashew juice + urea (100 mL) was inoculated with 1 mL *Z. mobilis* 2×10^8 cell/mL. Initial pH, reducing sugar, amount of microorganism and concentration of ethanol was calculated everyday during 3 days. It could be concluded that 0.2% of urea produced the highest content of ethanol that was an amount 40.51%, followed by urea 0% was 30.59% and urea 0.4% was 25.63%. The optimum fermentation duration to produce the highest content of ethanol was 2 days.

♥ Alamat korespondensi:

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126
Tel. & Fax.: +62-271-663375.
e-mail: biology@mipa.uns.ac.id

Keywords: ethanol fermentation, cashew juice, *Zymomonas mobilis*, urea concentration.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki areal perkebunan jambu mete (*Anacardium occidentale* L.) seluas 560.813 ha, tersebar di propinsi Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Maluku, Bali, Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Yogyakarta. Pada tahun 2000, produksi gelondong mete (biji mete kering) diprediksikan mencapai 92.390 ton (Departemen Pertanian RI, 1979). Di Indonesia, buah semu jambu mete belum banyak dimanfaatkan. Padahal hampir semua bagian tanaman jambu mete dapat dimanfaatkan, mulai dari buah sejati, buah semu, kulit biji dan kulit ari, akar, batang dan daun. Buah semu dapat diolah menjadi aneka makanan dan minuman. Menurut Mulyoharjo (1990) buah semu jambu

mete dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan manisan, selai, rujak, bahkan airnya dapat digunakan untuk membuat cuka atau jelly. Di Brasil, buah semu jambu mete banyak diolah menjadi sari buah, sedangkan di Goa (India) dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk produksi minuman beralkohol yang disebut *feni* (Morton, 1987). Ampas buah semu dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku abon dan sebagai bahan campuran untuk pakan ternak (Mulyoharjo, 1990; Kihn *et al.*, 1996). *Saccharomyces cerevisiae* mampu memfermentasi gula dalam sari buah semu jambu mete menjadi etanol (Hermawan dkk, 2000)

Etanol umumnya diproduksi melalui fermentasi mikroorganisme etanologenik. Menurut Gunasekaran dan Raj (2002), meskipun beberapa mikroorganisme telah dimasukkan

sebagai mikroorganisme etanologenis, tetapi khamir *S. cerevisiae* dan bakteri *Z. mobilis* merupakan mikroorganisme terbaik untuk produksi etanol.

Pada penelitian ini dilakukan fermentasi sari buah semu jambu mete menggunakan *Z. mobilis*. Bakteri *Z. mobilis* dianggap sebagai mikroorganisme alternatif dalam produksi etanol karena mempunyai sifat-sifat yang sesuai untuk produksi etanol secara efisien, sifat-sifat tersebut antara lain, toleransi terhadap kadar gula sampai 400 g/L dan etanol sampai 100 g/L, produksi etanol yang tinggi, sedikit akumulasi produk samping, pembentukan etanol lebih cepat dibandingkan dengan khamir, dan manipulasi genetik *Z. mobilis* lebih sederhana daripada khamir (Doelle, 1990; Hobley dan Pamment, 1994; Nowak, 2000; Wijono, 1988).

Buah semu jambu mete memiliki kandungan protein rendah yaitu 4,6%. Hal itu menyebabkan rendahnya kandungan nitrogen, padahal sumber nitrogen merupakan salah satu unsur makro yang penting untuk pertumbuhan dan produksi metabolit oleh mikroorganisme. Untuk itu pada fermentasi sari buah semu jambu mete perlu dilakukan penambahan sumber nitrogen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar urea yang perlu ditambahkan dan lama fermentasi yang maksimal untuk menghasilkan kadar etanol tertinggi dalam fermentasi etanol sari buah semu jambu mete oleh *Z. mobilis*.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Buah semu jambu mete (*Anacardium occidentale* L.) varietas merah, diperoleh dari daerah Tawang Sari, Sukoharjo. Umur buah semu jambu mete \pm 4 bulan. Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah media glukosa sebagai media penumbuh *Z. mobilis*. Biakan murni yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Z. mobilis* FNCC 056 dari Laboratorium Mikrobiologi Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Bahan kimia yang digunakan adalah glukosa anhidrat; gula pasir; larutan Arsenomolibdat; larutan Nelson A larutan Nelson B; urea; $MgSO_4$; NaOH; gula pasir.

Penyediaan inokulum *Z. Mobilis*. Satu loop *Z. mobilis* diinokulasikan ke media glukosa sebanyak 30 mL. Inokulum diinkubasi di suhu kamar dengan penggoyangan sampai diperoleh jumlah sel sebanyak $\pm 10^8$ sel/mL.

Pembuatan sari buah jambu mete. Buah semu jambu mete yang telah dicuci bersih dipotong kecil-kecil kemudian diblender, setelah itu bubur buah semu jambu mete diperas menggunakan kain (Hermawan dkk., 2000).

Pembuatan media fermentasi. Komposisi media fermentasi terdiri dari sari buah (100 mL), $MgSO_4$ 0,1% (b/v), urea (0; 0,2; 0,4 g/L) dan gula pasir 11 g. Fermentasi diatur pada nilai pH 6. Media yang telah dibuat, disaring menggunakan kertas saring untuk menyaring kotoran. Media fermentasi sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam tabung duran 100 mL kemudian disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 80°C selama 30 menit.

Fermentasi etanol. Media fermentasi (100 mL) ditambah 1 mL inokulum *Z. mobilis* ($\pm 10^8$ sel/mL) kemudian diinkubasi selama 3 hari di suhu kamar ($\pm 30^\circ C$). Analisis nilai pH, kadar gula reduksi, jumlah mikroorganisme dan etanol dilakukan setiap 24 jam

Analisis data. Analisis data menggunakan metode statistik analisis variansi (ANOVA) dan untuk mengetahui beda rata-rata karena pengaruh perlakuan dilakukan dengan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) taraf signifikansi 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai pH

Nilai pH merupakan suatu simbol untuk derajat keasaman atau alkalinitas suatu larutan. Nilai pH sangat penting untuk pertumbuhan mikroorganisme, karena kerja enzim sangat dipengaruhi oleh pH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kadar urea memberikan hasil yang berbeda nyata terhadap nilai pH. Nilai pH tertinggi diperoleh pada kadar urea 0%. Hal itu ditunjukkan nilai pH kadar urea 0% berbeda nyata dengan kadar urea 0,2% dan 0,4%.

Tabel 1. Nilai pH pada fermentasi etanol sari buah semu jambu mete oleh *Z. mobilis* dengan penambahan urea.

Fermentasi sampai hari ke	Urea 0%	Urea 0,2%	Urea 0,4%	Rata-rata
1	6,08	5,86	5,96	5,96 ^C
2	6,09	5,91	5,96	5,98 ^C
3	6,15	5,84	6,02	6,00 ^C
Rata-rata	6,11 ^b	5,86 ^a	5,97 ^a	

Keterangan: a-b: angka yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata untuk faktor kadar urea ($\alpha = 0,05$); C: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan perbedaan tidak nyata untuk faktor lama fermentasi ($\alpha = 0,05$).

Pada fermentasi ini nilai pH awal adalah 6, karena menurut Worden *et al.* (1983) pertumbuhan maksimum *Z. mobilis* pada nilai pH 5,6-7,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan urea cenderung menyebabkan nilai pH menjadi rendah. Hal ini terlihat dengan nilai pH pada kadar urea 0% berbeda nyata dengan kadar urea 0,2% dan 0,4% (Tabel 1).

Selama fermentasi perubahan pH dapat disebabkan oleh hasil fermentasi yang merupakan asam atau basa yang dihasilkan selama pertumbuhan mikroorganisme dan komponen organik dalam media. Pada penelitian ini nilai pH dalam media dengan penambahan urea lebih rendah disebabkan oleh adanya ion amonium dalam media fermentasi yang dihasilkan dari degradasi urea. Ion amonium dapat bersifat asam disebabkan oleh adanya reaksi yang menghasilkan ion H_3O^+ . Penambahan ion H_3O^+ ini menyebabkan pH media menjadi rendah, karena H_3O^+ (ion hidronium) merupakan asam terkuat yang dapat berada dalam air (Keenan dkk, 1990).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama fermentasi media dengan variasi kadar urea memberikan hasil yang berbeda tidak nyata terhadap nilai pH. Hal itu menunjukkan bahwa nilai pH cenderung stabil dan tidak mengalami perubahan seiring bertambahnya lama fermentasi. Kombinasi kedua jenis perlakuan, yaitu kadar urea dan lama fermentasi media dengan variasi kadar urea memberikan hasil yang berbeda nyata terhadap nilai pH.

Kadar gula reduksi

Kadar gula reduksi dari sari buah semu jambu mete yang terukur adalah 6 g/100 mL. Penambahan sukrosa sebesar 11 g/100 mL ini mempertimbangkan agar kadar gula reduksi tidak lebih rendah dari 10%. Menurut Kirsop dan Hilton dalam Hermawan dkk. (2000) kadar substrat minimal 10% agar mendapatkan produk yang ekonomis. Setelah sterilisasi kadar gula reduksi naik menjadi 13 g/100 mL.

Kadar gula reduksi yang terukur selama fermentasi adalah kadar gula reduksi sisa yang tidak dimanfaatkan oleh *Z. mobilis*. Hasil penelitian menunjukkan kadar urea 0%; 0,2%; 0,4% memberikan hasil yang berbeda nyata terhadap kadar gula reduksi. Kadar gula reduksi lebih tinggi diperoleh pada kadar urea 0% dan 0,4%. Hal itu ditunjukkan kadar gula reduksi pada kadar urea 0% dan 0,4% berbeda nyata dengan kadar urea 0,2%. Lama fermentasi media dengan variasi kadar urea memberikan hasil

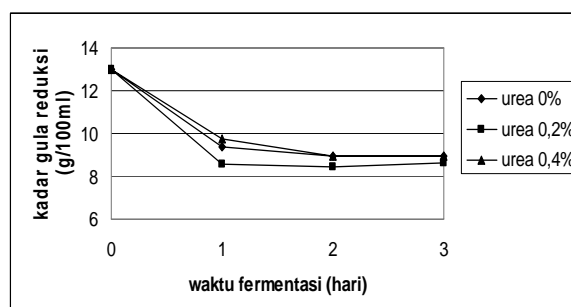
yang berbeda nyata terhadap kadar gula reduksi. Kadar gula reduksi tertinggi diperoleh pada media dengan lama fermentasi 1 hari. Kombinasi kedua jenis perlakuan, yaitu kadar urea dan lama fermentasi media dengan variasi kadar urea juga memberikan hasil yang berbeda nyata terhadap kadar gula reduksi.

Konsumsi gula reduksi diperoleh dari pengurangan kadar gula reduksi sebelum fermentasi dengan kadar gula reduksi selama fermentasi. Kadar gula reduksi terendah terdapat pada kadar urea 0,2%, maka konsumsi gula reduksi tertinggi terdapat pada kadar urea 0,2% (Tabel 2). Penambahan kadar urea 0,2% hanya sedikit meningkatkan konsumsi gula reduksi.

Tabel 2. Kadar gula reduksi (g/100 mL) selama fermentasi etanol sari buah semu jambu mete oleh *Z. mobilis* dengan penambahan urea.

Fermentasi sampai hari ke	Urea 0%	Urea 0,2%	Urea 0,4%	Rata-rata
1	9,397	8,572	9,765	9,250 ^D
2	8,951	8,439	8,962	8,784 ^C
3	8,962	8,602	8,962	8,842 ^C
Rata-rata	9,103 ^b	8,538 ^a	9,23 ^b	

Keterangan: a-b: angka yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata untuk faktor kadar urea ($\alpha=0,05$); C: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan perbedaan tidak nyata untuk faktor lama fermentasi ($\alpha=0,05$).



Gambar 1. Kadar gula reduksi selama fermentasi etanol sari buah semu jambu mete oleh *Z. mobilis* dengan penambahan urea.

Gambar 1 menunjukkan bahwa konsumsi gula reduksi tertinggi secara harian terjadi pada hari ke-1, dan pada hari ke-2 konsumsi gula reduksi lebih rendah dibandingkan hari ke-1. Dari hari ke-2 sampai hari ke-3 terjadi kenaikan kadar gula reduksi. Kenaikan kadar gula reduksi tersebut kemungkinan disebabkan karena penurunan konsumsi gula reduksi dan terjadi fermentasi sukrosa. Dalam fermentasi ini selain

mengonsumsi gula reduksi, *Z. mobilis* juga melakukan fermentasi sukrosa yang ditambahkan ke dalam media. Menurut Gunasekaran dan Raj (2002) fermentasi sukrosa oleh *Z. mobilis* akan menghasilkan fruktosa, glukosa dan levan. Hal itu menyebabkan penambahan kadar gula reduksi ke dalam media fermentasi. Menurut Kim *et al.* (2000) *Z. mobilis* cenderung akan mengonsumsi monosakarida terlebih dahulu ketika tumbuh dalam media campuran antara monosakarida dan disakarida.

Jumlah mikroorganisme

Jumlah inokulum yang digunakan dalam fermentasi sari buah semu jambu mete adalah 2×10^8 sel/mL, sehingga jumlah mikroorganisme pada awal fermentasi adalah 2×10^6 se/mL. Menurut Rahman (1992) tujuan pembuatan inokulum untuk fermentasi menggunakan bakteri adalah menyediakan inokulum yang berada dalam keadaan aktif, sehingga dapat mempersingkat fase adaptasi pada waktu fermentasi.

Kadar urea masing-masing variasi memberikan hasil yang berbeda nyata terhadap jumlah sel *Z. mobilis*. Jumlah sel *Z. mobilis* tertinggi diperoleh pada kadar urea 0,2%. Hal itu ditunjukkan jumlah sel *Z. mobilis* pada kadar urea 0,2% berbeda nyata dengan kadar urea lainnya. Kadar urea yang tinggi dapat meracuni *Z. mobilis*. Jumlah sel *Z. mobilis* tertinggi dihasilkan dari kadar urea 0,2%. Menurut Torres dan Barrati (1988) sumber nitrogen terbaik untuk *Z. mobilis* adalah ekstrak khamir, ammonium sulfat atau campuran ekstrak khamir dan ammonium sulfat.

Tabel 3. Jumlah *Z. mobilis* selama fermentasi etanol sari buah semu jambu mete.

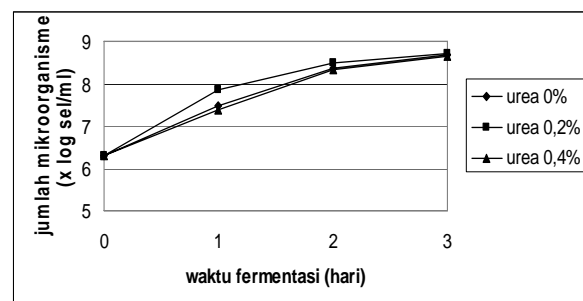
Fermentasi sampai hari ke	Urea 0% (x 10 ⁷ sel/mL)	Urea 0,2% (x 10 ⁷ sel/mL)	Urea 0,4% (x 10 ⁷ sel/mL)	Rata-rata (x 10 ⁷ sel/mL)
1	3,0	7,1	2,5	4,2 ^C
2	24,0	30,1	20,7	25,0 ^D
3	48,0	51,0	44,0	48,0 ^E
Rata-rata	25,0 ^a	29,0 ^b	22,0 ^a	

Keterangan: a-b: angka yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata untuk faktor kadar urea ($\alpha = 0,05$); C: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan perbedaan tidak nyata untuk faktor lama fermentasi ($\alpha = 0,05$).

Tabel 3 menunjukkan bahwa jumlah sel *Z. mobilis* pada kadar urea 0% tidak berbeda nyata

dengan kadar urea 0,4% namun berbeda nyata dengan kadar urea 0,2%, yaitu lebih rendah. Hal itu disebabkan sumber nitrogen pada kadar urea 0% rendah, padahal nitrogen sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan dan produksi metabolit. Kadar urea 0,4% jumlah sel *Z. mobilis* yang rendah disebabkan adanya kadar urea yang terlalu tinggi. Kadar urea yang terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan sel *Z. mobilis*. Menurut Bartley *et al.* (1976) jika urea dikonsumsi dalam jumlah yang besar dan dalam waktu yang singkat akan membentuk $\text{NH}_3\text{-N}$ yang bersifat racun dan dapat menghambat pertumbuhan suatu organisme. Hasil ini berbeda dengan penelitian oleh Hermawan dkk. (2000), bahwa penambahan urea sampai 0,8 g/L mampu meningkatkan produksi sel *S. cerevisiae*.

Jumlah sel *Z. mobilis* meningkat seiring bertambahnya lama fermentasi. Hal itu ditunjukkan lama fermentasi media dengan variasi kadar urea berbeda nyata terhadap jumlah sel *Z. mobilis*. Jumlah sel *Z. mobilis* tertinggi diperoleh pada media dengan lama fermentasi 3 hari. Kombinasi kedua jenis perlakuan, yaitu kadar urea dan lama fermentasi media dengan variasi kadar urea juga memberikan hasil yang berbeda nyata terhadap jumlah mikroorganisme.



Gambar 2. Jumlah *Z. mobilis* selama fermentasi etanol sari buah semu jambu mete

Gambar 2 menunjukkan peningkatan jumlah sel *Z. mobilis* tertinggi secara harian terjadi dari hari ke-0 sampai hari ke-1. Pada kadar urea 0,2% peningkatan jumlah sel dari hari ke-1 sampai hari ke-2 lebih rendah dibandingkan kadar urea 0% dan 0,4%. Hal itu disebabkan karena adanya pengurangan nutrisi dalam media fermentasi pada kadar urea 0,2% lebih tinggi dibandingkan kadar urea 0% dan 0,4%.

Kadar etanol

Kadar urea masing-masing variasi menunjukkan hasil yang berbeda nyata terhadap kadar

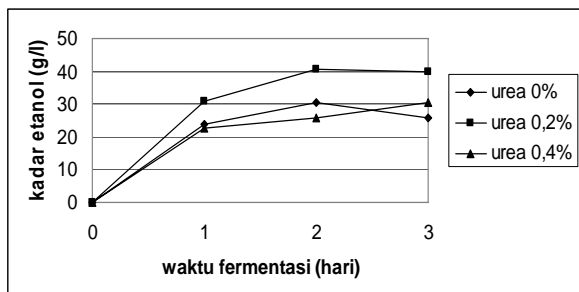
etanol. Kadar etanol tertinggi diperoleh pada kadar urea 0,2%. Kadar etanol pada kadar urea 0,2% berbeda nyata dengan kadar urea 0% dan 0,4%. Lama fermentasi media dengan variasi kadar urea memberikan hasil yang berbeda nyata. Kombinasi kedua jenis perlakuan, yaitu kadar urea dan lama fermentasi media dengan variasi kadar urea juga memberikan hasil yang berbeda nyata.

Tabel 4. Kadar etanol (g/L) hasil fermentasi sari buah semu jambu mete oleh *Z. mobilis* dengan penambahan urea.

Fermentasi sampai hari ke	Urea 0%	Urea 0,2%	Urea 0,4%	Rata-rata
1	23,98	30,68	22,60	25,72 ^C
2	30,59	40,51	25,63	32,25 ^D
3	25,91	39,67	30,59	31,23 ^D
Rata-rata	26,83 ^a	36,10 ^b	26,27 ^a	

Keterangan: a-b: angka yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata untuk faktor kadar urea ($\alpha = 0,05$); C: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan perbedaan tidak nyata untuk faktor lama fermentasi ($\alpha = 0,05$).

Faktor yang mempengaruhi peningkatan kadar etanol selama proses fermentasi, adalah ketersediaan substrat yaitu gula reduksi dan jumlah mikroorganisme *Z. mobilis* (Presscott dan Dunn, 1959). Pada penelitian ini besarnya substrat untuk masing-masing perlakuan sama yaitu sebesar 17 g/100 mL, yang berasal dari 6 g/100 mL kadar gula reduksi dan 11 g/100 mL penambahan gula pasir. Jumlah sel *Z. mobilis* tertinggi diperoleh pada kadar urea 0,2%. Konsumsi gula reduksi tertinggi juga terjadi pada kadar urea 0,2%. Hal itu menyebabkan produksi etanol tertinggi dihasilkan pada kadar urea 0,2% (Tabel 4).



Gambar 3. Kadar etanol selama fermentasi etanol sari buah semu jambu mete oleh *Z. mobilis* dengan penambahan urea.

Gambar 3 menunjukkan bahwa kadar etanol dari kadar urea 0% dan 0,2% mengalami

peningkatan sampai fermentasi hari ke-2. Sedangkan untuk kadar urea 0,4% mengalami peningkatan sampai hari ke-3. Secara kumulatif kadar etanol telah mencapai maksimum pada fermentasi hari ke-2. Hal itu ditunjukkan dengan kadar etanol pada hari ke-2 berbeda tidak nyata dengan fermentasi hari ke-3 (Lampiran 7).

Produksi etanol pada hari ke-3 untuk masing-masing kadar urea tidak berbeda nyata dengan produksi etanol pada hari ke-2 (Tabel 6), hal itu kemungkinan karena pada hari ke-3 *Z. mobilis* lebih banyak melakukan fermentasi sukrosa. Menurut Wijono (1988), fermentasi sukrosa oleh *Z. mobilis* menghasilkan produksi etanol yang rendah. Hal itu karena fermentasi sukrosa atau campuran glukosa-fruktosa akan mengakibatkan pembentukan produk samping seperti levan.

Laju pembentukan etanol didapatkan dari hasil fermentasi per waktu fermentasi (Crueger dan Crueger, 1984). Laju pembentukan etanol tertinggi secara harian untuk masing-masing kadar urea 0%; 0,2%; 0,4% dari hari ke-0 sampai hari ke-1 berturut-turut yaitu 0,99 g/jam; 1,28 g/jam dan 0,94 g/jam. Hal itu karena selama waktu tersebut konsumsi gula reduksi tinggi, sehingga laju pembentukan etanol menjadi tinggi. Dari hari ke-2 sampai hari ke-3 terjadi penurunan konsumsi gula reduksi dan pembentukan produk samping, sehingga laju pembentukan etanol antara hari ke-2 dan hari ke-3 lebih rendah dibandingkan dengan laju pembentukan etanol antara hari ke-0 dan hari ke-1. Laju pembentukan etanol selama waktu tersebut untuk masing-masing kadar urea 0%; 0,2%; 0,4% berturut-turut yaitu sebesar 0,36 g/jam; 0,55 g/jam; 0,42 g/jam. Hal itu sesuai dengan pernyataan Doelle (1990), bahwa waktu fermentasi etanol untuk *Z. mobilis* adalah 24-34 jam.

Kadar etanol pada kadar urea 0% dan 0,4% di hari ke-3 turun. Menurut Hart dan Suminar (1983) hal itu disebabkan oleh adanya oksidasi alkohol menjadi aldehid atau keton. Pada oksidasi ini, nikotamida adenin dinukleotida (NAD) merupakan merupakan oksidator penting. Dengan bantuan NAD, enzim mengoksidasi alkohol menjadi senyawa-senyawa karbonil, dan NAD tereduksi menjadi NADH. Etanol dapat dioksidasi menjadi asetaldehid.

Pada penelitian ini pada hari ke-1, etanol yang dihasilkan sebesar 30,68 g/L pada kadar urea 0,2%. Penelitian oleh Jesus dan Nghiem (2000), menggunakan rekombinan *Z. mobilis* mampu menghasilkan 48 g/L etanol dari fermentasi jerami yang dihidrolisis dengan

arkenol. Menurut Najafpour dan Lim (2002), *Z. mobilis* mampu menghasilkan 49 g/L etanol saat tumbuh dalam 100 g/L glukosa. Fermentasi etanol sari buah semu jambu mete telah memberikan produksi etanol yang cukup, karena sari buah jambu mete merupakan bahan dasar etanol yang murah.

Penambahan urea menyebabkan nilai pH lebih rendah, tetapi hal ini tidak menghambat proses fermentasi. Produksi etanol tertinggi terjadi pada kadar urea 0,2%. *Z. mobilis* merupakan mikroorganisme yang mampu hidup pada kisaran nilai pH 3,7-7,5. Penelitian oleh Ishizaki *et al.* (1994), menunjukkan bahwa penggunaan nilai pH minimum dan maksimum pada fermentasi *Z. mobilis* tidak mempengaruhi produksi etanol. Menurut Worden *et al.* (1983) pada *Z. mobilis* produksi etanol maksimum pada nilai pH 5,2-7,5. Menurut Torres dan Barrati (1988) produksi etanol oleh *Z. mobilis* akan berhenti pada nilai pH 3.

Pada penelitian ini penambahan urea 0,2% mampu meningkatkan produksi etanol sebesar 30,68 g/L selama 1 hari fermentasi. Penelitian Torres dan Barrati (1988) menunjukkan fermentasi etanol oleh *Z. mobilis* menggunakan ammonium sulfat memberikan hasil etanol 34,7 g/L; fermentasi etanol oleh *Z. mobilis* menggunakan yeast ekstrak memberikan hasil etanol sebesar 28,0 g/L.

KESIMPULAN

Pada fermentasi etanol dari sari buah semu jambu mete oleh *Z. mobilis* dengan penambahan urea, kadar urea 0,2% menghasilkan etanol tertinggi yaitu sebesar 40,51 g/L, dibandingkan kadar urea 0% dan 0,4% masing-masing sebesar 30,59 g/L dan 25,63 g/L selama 2 hari fermentasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bartley, E.E., A.D. Davidovich, G.W. Barr, G.W. Griffell, A.D. Dayton, C.W. Deyoe, and R.M. Bechtel. 1976. Ammonia toxicity in cattle. I. rumen and blood changes associated with toxicity and treatment methods. *Journal of Animal Science* 43: 835-841.
- Crueger, W. and A. Crueger. 1984. *Biotechnology: A Text Book of Industrial Microbiology*. Madison: Science Technology Inc.
- Departemen Pertanian Republik Indonesia. 1979. *Pedoman Teknologi Pengolahan Mete..* Jakarta: Departemen Pertanian Republik Indonesia.
- Doelle, H.W. 1990. *Zymomonas Ethanol Process – Laboratory To Commercial Evaluation. Fermentation Technologies Industrial Application*. New York: Elsevier Applied Science.
- Gunasekaran, P. and C.K. Raj. 2002. *Ethanol Fermentation Technology – Zymomonas mobilis*. Madurai: Madurai Kamaraj University.
- Hart, A. dan A. Suminar, 1983. *Kimia Organik Suatu Kuliah Singkat*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hermawan, D.R.W.A., T. Utami, dan M.N. Cahyanto. 2000. Fermentasi etanol dari buah semu jambu mete (*Anacardium occidentale* L.) oleh *Saccharomyces cerevisiae* FNCC 3015 menggunakan ammonium sulfat dan urea sebagai sumber nitrogen. *Agritech*. 20 (2): 93-98.
- Hobley, T.J. and N.B. Pamment. 1994. Differences in response of *Zymomonas mobilis* and *Saccharomyces cerevisiae* to change in extracellular ethanol concentration. *Biotechnology and Bioengineering* 43 (2): 155-158.
- Ishizaki, A., S. Tripechkul, M. Tonokawa, S. Zhong-Ping, and S. Kayuzuki. 1994. pH mediated control methods for continuous ethanol fermentation using *Zymomonas mobilis*. *Journal of Fermentation Bioengineering* 77: 541-547
- Jesus, D.D. and N.P. Nghiem, 2000. *Ethanol Production From Rice Straw Hydrolyzate Using Zymomonas mobilis in a Continuous Fluidized Bed Reaction (FBR)*. www.sciencedirect.com/science/Abstracts2000/ORNLchem.htm [19 Oktober 2005]
- Keenan, C. W., D. C. Kleinfelter, dan J. H. Wood. 1990. *Kimia Untuk Universitas*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Kihn, L.V., V.V. Do, and D.D. Phuong. 1996. *Chemical Composition of Cashew Apple and Cashew Apple Waste Ensilaged with Poultry Litter*. www.cipav.org.co/Irrd/1/Kihn91.htm. [1 Mei 2004]
- Kim, I.S., K.D. Barrow, and P.L. Rogers. 2000. Kinetic and Nuclear Magnetic Resonance Studies of Xylose Metabolism by Recombinant *Zymomonas mobilis* zm4(pZB5). *Applied and Environmental Microbiology* 66 (1): 186-193.
- Morton, J. 1987. *Cashew Apple (Anacardium occidentale)*. www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/cashew_apple.html [2 Mei 2004]
- Mulyoharjo, M. 1990. *Jambu Mete dan Teknologi Pengolahannya*. Yogyakarta: Penerbit Liberty.
- Najafpour, G.D. and J. K. Lim. 2002. *Evaluation and Isolation of Ethanol Producer strain SMP-6, Regional Symposium on Chemical Engineering*. www.andrew.cmu.edu/user/jitkangl/fermentation_20of_20Ethanol/Fermentation_20of_20Ethanol.htm [19 Oktober 2005]
- Nowak, J. 2000. *Ethanol Yield and Productivity of Zymomonas mobilis in Various Fermentation Methods*. www.ejpau.media.pl/series/volume3/issue2/food/art-04.html [2 Juni 2004].
- Presscott, M.C. and C.G. Dunn. 1959. *Industrial Microbiology*. London: McGrawHill Book.
- Rahman, A. 1992. *Pengantar Teknologi Fermentasi*. Jakarta: PAU Pangan dan Gizi IPB.
- Torres, E.F. and J. Barrati, 1988. Ethanol Production From Wheat Flour by *Zymomonas mobilis*. *Journal of Fermentation Technology* 66 (2): 167-172.
- Wijono, D. 1988. *Evaluasi Kinetika Proses Fermentasi Etanol oleh Zymomonas mobilis ZM 4 * . Fak TP UGM dalam Bioproses dalam Industri Pangan*. Yogyakarta: PAU Pangan dan Gizi UGM.
- Worden, R.M., T.L. Donaldson, S.E. Shumate, and G.W. Strandberg. 1983. *Kinetic Study of Ethanol Production by Zymomonas mobilis*. www.osti.gov/energycitations/product.biblio.isp?osti_id=5380194 [28 Oktober 2005].