

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengaruh Lama Fermentasi dan Variasi Kadar Urea terhadap pH Setelah Fermentasi

Berdasarkan hasil uji anava dengan taraf alpha 5% (Lampiran 2.), diketahui bahwa lama fermentasi dan variasi kadar urea berpengaruh nyata terhadap pH setelah fermentasi akan tetapi interaksi antara lama fermentasi dan variasi kadar urea tidak berpengaruh nyata. Hasil analisis pengaruh lama fermentasi terhadap pH setelah fermentasi disajikan dalam tabel 4.1.

Table 4.1 Pengaruh Lama Fermentasi terhadap pH Setelah Fermentasi

Lama fermentasi (jam)	Rata-rata ph
48	3.91 d
96	3.83 c
144	3.53 b
192	3.30 a

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT  $\alpha=5\%$ .

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa perlakuan lama fermentasi 48 jam berbeda nyata dengan perlakuan lama fermentasi 96, 144 dan 192 jam. Perlakuan lama fermentasi 96 jam berbeda nyata dengan perlakuan lama fermentasi 144 dan 192 jam sedangkan perlakuan lama fermentasi 144 jam berbeda nyata dengan perlakuan lama fermentasi 192 jam. pH tertinggi dicapai pada lama fermentasi 48 jam yaitu mencapai nilai rata-rata 3,91 sedangkan pH terendah dicapai pada lama fermentasi 192 jam yaitu mencapai nilai rata-rata 3,30.

Semakin lama fermentasi maka pH media akan semakin menurun. Hal ini diduga semakin lama fermentasi maka akan terbentuk produk fermentasi selain etanol sehingga dapat menurunkan pH media dan kadar bioetanol. Menurut Purwoko (2007) pada proses fermentasi tidak hanya dihasilkan etanol dan karbondioksida akan tetapi juga dihasilkan produk samping seperti gliserol dan asam asetat. Taherzadeh dan Keikhosrok (2007) menambahkan bahwa asam asetat terbentuk ketika proses hidrolisis maupun fermentasi. Asam asetat dapat berdifusi melalui membran sel dengan menurunkan pH internal. Dengan demikian ketika pH rendah (asam) maka aktivitas enzim akan terhambat sehingga kemampuan mikroba untuk mengurai gula menjadi bioetanol semakin rendah.

Derajat keasaman (pH) merupakan satu diantara beberapa faktor penting yang mampu mempengaruhi proses fermentasi bioetanol. pH optimum untuk proses fermentasi berkisar antara 4,5-5, pada pH 3 proses fermentasi akan berkurang kecepatannya. Hal tersebut dikarenakan pH mempengaruhi efektivitas enzim yang dihasilkan mikroorganisme dalam membentuk kompleks enzim substrat. Selain itu perubahan pH dapat menyebabkan terjadinya proses denaturasi sehingga menurunkan aktivitas enzim (Poedjadi dan Titin, 2006 ).

Penambahan urea dengan kadar berbeda dapat mempengaruhi pH media fermentasi. Hasil analisis pengaruh variasi kadar urea terhadap pH setelah fermentasi disajikan dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2. Pengaruh Variasi Kadar Urea terhadap pH Setelah Fermentasi

Kadar urea (g/l)	Rata-rata pH
0	3,99 c
2	3,64 b
4	3,58 b
6	3,34 a

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT  $\alpha=5\%$ .

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa perlakuan tanpa urea (0 g/l) berbeda nyata dengan perlakuan urea 2 g/l, 4 g/l dan 6 g/l. Perlakuan urea 2 g/l tidak berbeda nyata dengan perlakuan urea 4 g/l namun berbeda nyata dengan perlakuan urea 6 g/l. pH tertinggi dicapai pada perlakuan tanpa urea (0 g/l) yaitu mencapai nilai rata-rata 3,99 sedangkan pH terendah dicapai pada perlakuan urea 6 g/l yaitu mencapai nilai rata-rata 3,34. Semakin banyak urea yang ditambahkan maka pH setelah fermentasi menjadi lebih rendah (asam). Menurut Putri dan Dede (2008) dalam Judoamidjojo (1989), menjelaskan bahwa kecenderungan media fermentasi semakin asam disebabkan ammonia yang digunakan oleh sel khamir sebagai sumber nitrogen diubah menjadi  $\text{NH}_4^+$ . Molekul  $\text{NH}_4^+$  akan menggabungkan diri ke dalam sel sebagai  $\text{R-NH}_3$ . Selama proses ini  $\text{H}^+$  ditinggalkan dalam media yang digunakan dalam proses fermentasi sehingga menyebabkan media fermentasi menjadi lebih asam. Dengan demikian semakin banyak urea yang ditambahkan maka jumlah  $\text{H}^+$  dalam media fermentasi semakin banyak sehingga pH akan menjadi lebih rendah (media fermentasi lebih asam).

#### 4.2 Pengaruh Lama Fermentasi dan Variasi Kadar Urea terhadap Kadar Gula Reduksi Setelah Fermentasi

Berdasarkan hasil uji anava dengan taraf alpha 5% (Lampiran 2.), diketahui bahwa lama fermentasi, variasi kadar urea dan interaksi lama fermentasi dan variasi kadar urea berpengaruh nyata terhadap kadar gula reduksi setelah fermentasi. Hasil analisis pengaruh lama fermentasi terhadap kadar gula reduksi setelah fermentasi disajikan dalam tabel 4.3.

Tabel 4.3. Pengaruh Lama Fermentasi terhadap Kadar Gula Reduksi (%) Setelah Fermentasi

Lama fermentasi (jam)	Rata-rata kadar gula reduksi (%)
48	0,01285 b
96	0,01287 b
144	0,01208 b
192	0,01111 a

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT  $\alpha=5\%$ .

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa kadar gula reduksi pada perlakuan lama fermentasi 48 jam tidak berbeda nyata dengan perlakuan lama fermentasi 96 dan 144 jam, akan tetapi berbeda nyata dengan perlakuan lama fermentasi 192 jam. Artinya kadar gula reduksi pada lama fermentasi 48, 96 dan 144 jam mencapai nilai rata-rata tinggi dibanding pada lama fermentasi 192 jam.

Kadar gula reduksi pada lama fermentasi 48 jam mencapai nilai rata-rata tinggi yaitu 0,01285%. Hal ini diduga bahwa mikroba yang terdapat dalam ragi tape belum mampu mendegradasi semua gula yang terkandung dalam substrat menjadi bioetanol sehingga pada lama fermentasi 48 jam kadar bioetanol masih rendah. Perlakuan lama fermentasi 96 jam juga menunjukkan kadar gula reduksi yang relatif tinggi yaitu 0,01287%. Meskipun demikian pada lama fermentasi 96

jam inilah dicapai kadar bioetanol tertinggi yang mencapai nilai rata-rata 1,40%. Begitu juga kadar gula reduksi pada perlakuan lama fermentasi 144 jam meskipun tidak berbeda nyata dengan perlakuan lama fermentasi 48 dan 96 jam akan tetapi menunjukkan penurunan kadar gula reduksi. Kadar gula reduksi terendah dicapai pada lama fermentasi 8 hari yaitu mencapai nilai rata-rata 0,01111%.

Purwoko (2007) menjelaskan bahwa pada proses fermentasi tidak hanya dihasilkan etanol dan karbondioksida akan tetapi juga dihasilkan produk samping seperti gliserol dan asam asetat. Selain itu, selama proses fermentasi juga akan terbentuk asam laktat sebagai hasil dari metabolit primer bakteri asam laktat yang terdapat dalam ragi tape. Bakteri asam laktat akan mengurai piruvat menjadi asam laktat dalam keadaan anaerob. Dalam hal ini piruvat hasil glikolisis berperan sebagai akseptor elektron dari NADH, artinya NADH akan melepaskan elektronnya ( $H^+$ ) yang akan ditangkap oleh piruvat sehingga terbentuklah asam laktat (Nester *dkk*, 2007). Dengan demikian semakin lama fermentasi maka kesempatan mikroba yang terdapat dalam ragi tape untuk melakukan penguraian gula menjadi senyawa lain semakin banyak sehingga kadar bioetanol yang dihasilkan rendah dan kadar gula reduksi yang terbentuk sedikit.

Penelitian yang dilakukan oleh Putri dan Dede (2008) tentang pembuatan bioetanol dari pati ganyong juga menunjukkan bahwa semakin lama fermentasi maka gula reduksi yang terbentuk semakin sedikit. Hal ini dikarenakan gula yang terdapat dalam substrat digunakan sebagai sumber karbon bagi sel khamir untuk mensintesis energi melalui proses fermentasi etanol.

Berdasarkan hasil uji anava (Lampiran 2.) dapat diketahui bahwa variasi kadar urea berpengaruh nyata terhadap kadar gula reduksi setelah fermentasi. Hasil analisis pengaruh variasi kadar urea terhadap kadar gula reduksi setelah fermentasi disajikan dalam tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pengaruh Variasi Kadar Urea terhadap Kadar Gula Reduksi (%) Setelah Fermentasi

Kadar urea (g/l)	Rata-rata kadar gula reduksi (%)
0	0,01320 b
2	0,01167 a
4	0,01120 a
6	0,01285 b

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT  $\alpha=5\%$ .

Berdasarkan tabel 4.4 dapat diketahui bahwa kadar gula reduksi pada perlakuan kontrol (tanpa penambahan urea) berbeda nyata dengan perlakuan urea 2 g/l dan urea 4 g/l akan tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan urea 6 g/l. Perlakuan urea 2 g/l tidak berbeda nyata dengan perlakuan urea 4 g/l akan tetapi berbeda nyata dengan perlakuan urea 6 g/l.

Kadar gula reduksi yang terbentuk dari perlakuan kontrol (tanpa penambahan urea) dan perlakuan dengan penambahan urea 6 g/l relatif tinggi, masing-masing mencapai nilai rata-rata 0,01320% dan 0,01285%. Hal ini diduga pada perlakuan kontrol, aktivitas mikroba yang terdapat dalam ragi tape relatif lambat dalam menguraikan gula menjadi bioetanol, karena media yang digunakan kekurangan nitrogen. Begitu juga ketika media yang digunakan kelebihan nitrogen maka aktivitas mikroba untuk menghasilkan etanol lambat. Hal ini dimungkinkan mikroba banyak yang mati karena adanya jumlah nitrogen yang

berlebih. Ruanglek *dkk* (2006) menjelaskan bahwa urea merupakan sumber nitrogen organik yang sangat penting untuk meningkatkan pertumbuhan dan metabolisme sel.

Kadar gula reduksi pada perlakuan urea 2 g/l dan 4 g/l relatif rendah masing-masing mencapai nilai rata-rata 0,01167% dan 0,01120%. Hal ini menunjukkan bahwa pada perlakuan urea 2 g/l dan 4 g/l mikroba yang terdapat dalam ragi tape mampu menguraikan gula menjadi bioetanol dengan sempurna sehingga kadar gula reduksi yang terbentuk sedikit. Gandjar *dkk* (2006) menjelaskan bahwa selama proses fermentasi, kapang yang terdapat dalam ragi akan mengekskresi enzim-enzim ekstraseluler yang dapat mengurai senyawa-senyawa kompleks dari substrat menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana seperti gula. Gula-gula sederhana tersebut selanjutnya diasimilasi oleh khamir melalui jalur glikolisis untuk menghasilkan asam piruvat. Asam piruvat dalam kondisi anaerob akan mengalami penguraian oleh piruvat dekarboksilasi menjadi etanol dan karbondioksida.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Soeka dan Eddy (1993) melaporkan bahwa penambahan urea sebesar 0,14% dalam media campuran onggok dan dedak mampu meningkatkan aktivitas enzim alpha amylase *Aspergillus niger* dari 26,50 S.C unit/100 ml larutan (kontrol) menjadi 74,31 S.C unit/100 ml larutan. Enzim alpha amylase merupakan enzim ekstraseluler yang berperan dalam mendegradasi ikatan  $\alpha$ , 1-4 glukosidik pada bagian dalam molekul substrat (pati) menjadi maltosa dan glukosa (Jogezai *dkk*, 2011). Selain menghasilkan enzim alpha amylase, *Aspergillus* juga menghasilkan enzim selulase dan hemiselulase yang

mampu menguraikan selulosa dan hemiselulosa menjadi glukosa dan xylosa (Chandel *dkk*, 2007).

Kadar gula reduksi pada perlakuan urea 2 g/l dan 4 g/l sama rendahnya akan tetapi kadar bioetanol yang dihasilkan berbeda. Perlakuan urea 4 g/l menghasilkan kadar bioetanol lebih tinggi dibanding perlakuan urea 2 g/l (Tabel 4.7). Hal ini diduga pada perlakuan urea 4 g/l aktivitas enzim yang dihasilkan oleh *Aspergillus* yang terdapat dalam ragi tape lebih tinggi dibanding perlakuan urea 2 g/l sehingga pada perlakuan urea 4 g/l gula yang dihasilkan lebih banyak. Gula sederhana hasil hidrolisis *Aspergillus* selanjutnya akan diurai oleh khamir menjadi bioetanol. Semakin banyak gula yang diurai menjadi bioetanol maka kadar gula reduksi yang terbentuk pun semakin sedikit.

Hasil uji anava dengan taraf alpha 5% (Lampiran 2.) menunjukkan bahwa interaksi lama fermentasi dan variasi kadar urea berpengaruh nyata terhadap kadar gula reduksi setelah fermentasi. Hasil analisis pengaruh lama fermentasi dan variasi kadar urea terhadap kadar gula reduksi setelah fermentasi disajikan dalam tabel 4.5.

Tabel 4.5 Interaksi Pengaruh Lama Fermentasi dan Variasi Kadar Urea terhadap Kadar Gula Reduksi (%) Setelah Fermentasi

Lama fermentasi (jam)	Kadar urea (g/l)			
	0	2	4	6
48	0,01470 f	0,01089 ab	0,01209 abcd	0,01374 def
96	0,01459 ef	0,01302 bcdef	0,01142 ab	0,01247 abcd
144	0,01157 abc	0,01232 abcd	0,01083 ab	0,01362 cdef
192	0,01196 abcd	0,01046 a	0,01049 a	0,01157 abc

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT  $\alpha = 5\%$ .

Tabel 4.7 menunjukkan kadar gula reduksi tertinggi dihasilkan pada perlakuan lama fermentasi 48 jam tanpa penambahan urea yaitu mencapai nilai rata-rata 0,01470 %. Sedangkan kadar gula reduksi terendah dihasilkan pada perlakuan lama fermentasi 192 jam dengan penambahan urea sebanyak 2 g/l yaitu mencapai nilai rata-rata 0,01046%.

#### 4.3 Pengaruh Lama Fermentasi dan Variasi Kadar Urea terhadap Kadar Bioetanol dari Sampah Organik

Berdasarkan hasil uji anava dengan taraf alpha 5% (Lampiran 2.) dapat diketahui bahwa lama fermentasi, variasi kadar urea dan interaksi lama fermentasi dan variasi kadar urea berpengaruh nyata terhadap kadar bioetanol dari sampah organik. Hasil analisis pengaruh lama fermentasi terhadap kadar bioetanol disajikan dalam tabel 4.6.

Tabel 4.6. Pengaruh Lama Fermentasi terhadap Kadar Bioetanol (%)

Lama fermentasi (jam)	Rata-rata kadar bioetanol (%)
48	1,00 a
96	1,40 c
144	1,13 b
192	1,00 a

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada uji DMRT  $\alpha=5\%$ .

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa perlakuan lama fermentasi 48 jam tidak berbeda nyata dengan perlakuan lama fermentasi 192 jam akan tetapi berbeda nyata dengan perlakuan lama fermentasi 96 dan 144 jam. Artinya pada lama fermentasi 48 dan 192 jam memiliki potensi sama dalam menghasilkan kadar bioetanol yang rendah dibanding pada lama fermentasi 96 dan 144 jam. Lama

fermentasi 96 jam berbeda nyata dengan perlakuan lama fermentasi 144 dan 192 jam. Begitu juga dengan perlakuan lama fermentasi 144 jam berbeda nyata dengan perlakuan lama fermentasi 192 jam.

Perlakuan lama fermentasi yang berbeda menunjukkan bahwa semakin lama fermentasi maka kadar bioetanol yang dihasilkan meningkat sampai pada lama fermentasi 96 jam, setelah lama fermentasi 96 jam kadar bioetanol mulai mengalami penurunan. Kadar bioetanol tertinggi dicapai pada lama fermentasi 96 jam yaitu mencapai nilai rata-rata 1,40% sedangkan kadar bioetanol terendah dicapai pada lama fermentasi 48 dan 144 jam yaitu mencapai nilai rata-rata 1%. Penurunan kadar bioetanol diduga terkait dengan ketersediaan substrat yang semakin lama semakin berkurang, karena telah direaksikan oleh mikroba yang terdapat dalam ragi tape menjadi bioetanol. Menurut Riadi (2007) beberapa faktor yang mempengaruhi produksi bioetanol yaitu: ketersediaan substrat, substrat penghambat, produk penghambat dan kematian sel.

Penelitian yang dilakukan oleh Sunardi (2010) tentang pembuatan bioetanol dari ampas tahu juga menunjukkan bahwa semakin lama fermentasi maka kadar bioetanol yang dihasilkan semakin rendah. Kadar bioetanol meningkat sampai pada lama fermentasi 7 hari dan setelah itu mengalami penurunan. Kadar bioetanol pada lama fermentasi 7 hari mencapai 10,5% selanjutnya pada lama fermentasi 9 hari kadar bioetanol mencapai 8,93%. Penurunan kadar bioetanol disebabkan *Saccharomyces cerevisiae* yang berperan dalam proses fermentasi dapat bermetabolisme secara maksimal tetapi masa

keaktifannya berkurang seiring dengan tersedianya substrat yang telah direaksikan menjadi bioetanol.

Perbedaan kadar bioetanol yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh penambahan urea dengan kadar berbeda. Hasil analisis pengaruh variasi kadar urea terhadap kadar bioetanol disajikan dalam tabel 4.7.

Tabel 4.7. Pengaruh Variasi Kadar Urea terhadap Kadar Bioetanol (%)

Kadar urea (g/l)	Rata-rata kadar bioetanol (%)
0	0,96 a
2	1,17 b
4	1,42 c
6	0,99 a

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata pada uji DMRT  $\alpha=5\%$ .

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa perlakuan kontrol (tanpa penambahan urea) berbeda nyata dengan perlakuan urea 2 g/l dan urea 4 g/l akan tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan urea 6 gr/l. Perlakuan urea 2 g/l berbeda nyata dengan perlakuan urea 4 g/l dan urea 6 g/l. Kadar bioetanol tertinggi dicapai pada perlakuan kadar urea 4 g/l yang mencapai nilai rata-rata 1,42% sedangkan kadar bioetanol terendah dicapai pada perlakuan tanpa urea yaitu mencapai nilai rata-rata 0,96%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak urea yang ditambahkan pada media fermentasi, maka kadar bioetanol semakin meningkat. Akan tetapi peningkatan kadar bioetanol hanya sampai pada perlakuan penambahan urea 4 g/l. Penambahan urea melebihi 4 g/l menyebabkan penurunan kadar bioetanol. Penurunan kadar bioetanol diduga terkait dengan penurunan pH yang terjadi pada penambahan urea melebihi kadar 4 g/l. Ketika pH media dalam kondisi semakin

asam maka aktivitas enzim yang dihasilkan oleh mikroba dalam ragi tape akan terdenaturasi sehingga menyebabkan hilangnya fungsi katalitik enzim dalam menguraikan substrat menjadi bioetanol.

Penelitian yang dilakukan oleh Shen *dkk* (2010) tentang pembuatan bioetanol dari pati ganyong menunjukkan bahwa penambahan beberapa sumber nitrogen seperti: urea, ammonium sulfat, ammonium bikarbonat, pepton dan ekstrak ragi dapat meningkatkan kadar bioetanol dari 8% (perlakuan tanpa penambahan sumber nitrogen) menjadi 10% (perlakuan dengan penambahan sumber nitrogen).

Urea dapat digunakan oleh sebagian besar fungi. Fungi yang memiliki enzim urease akan menghidrolisis urea menjadi ammonium dan karbondioksida. Khamir *Saccharomyces cerevisiae* tidak memiliki enzim urease sehingga menggunakan jalur lain melalui penggunaan enzim urea amidohidrolase. Urea dikarboksilasi menjadi alofonat lebih dahulu kemudian alofonat dihidrolisis dengan enzim alofonat hidrolase menjadi ammonium. Ammonium selanjutnya digunakan oleh sel khamir untuk membentuk materi sel (Gandjar *dkk*, 2006).

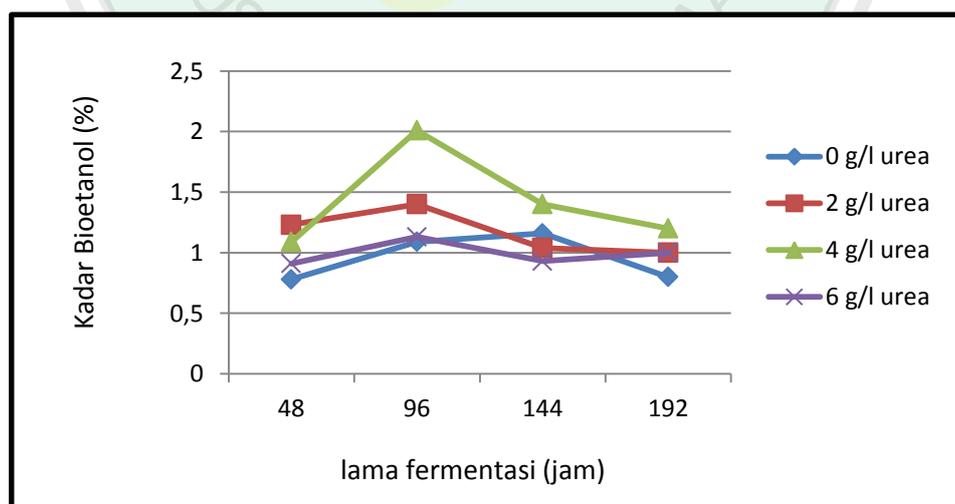
Berdasarkan hasil uji anava (Lampiran 2.) menunjukkan bahwa interaksi lama fermentasi dan variasi kadar urea berpengaruh nyata terhadap kadar bioetanol dari sampah organik. Hasil analisis interaksi pengaruh lama fermentasi dan variasi kadar urea terhadap kadar bioetanol disajikan dalam tabel 4.8.

Tabel 4.8 Interaksi Pengaruh Lama Fermentasi dan Variasi Kadar Urea terhadap Kadar Bioetanol (%)

Lama fermentasi (jam)	Kadar urea(g/l)			
	0	2	4	6
48	0,78 a	1,23 gh	1,09 cdefg	0,91 abc
96	1,09 cdefg	1,4 h	2,01 i	1,13 defg
144	1,16 efg	1,04 cdefg	1,4 h	0,93 abcd
192	0,8 ab	1 bcdef	1,2 fgh	1 bcdef

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT  $\alpha=5\%$ .

Tabel 4.8 menunjukkan bahwa perlakuan lama fermentasi 96 jam dengan kadar urea 4 g/l (perlakuan K4W4) berbeda nyata dengan semua perlakuan. Pada perlakuan K4W4 dihasilkan kadar bioetanol tertinggi yang mencapai 2,01%. Kadar bioetanol terendah dihasilkan pada perlakuan lama fermentasi 48 jam tanpa penambahan urea yaitu mencapai nilai rata-rata 0,78%. Data hasil penelitian tentang pengaruh lama fermentasi dan variasi kadar urea terhadap kadar bioetanol juga dapat digambarkan dalam grafik 4.1.



Gambar 4.8. Grafik Hubungan antara Lama Fermentasi dan Variasi Kadar Urea terhadap Kadar Bioetanol dari Sampah Organik.

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa semakin lama fermentasi dan semakin banyak urea yang ditambahkan, maka kadar bioetanol yang dihasilkan semakin meningkat. Akan tetapi peningkatan kadar bioetanol hanya sampai pada lama fermentasi 96 jam dan pada penambahan urea sebanyak 4 g/l. Proses fermentasi melebihi 96 jam menyebabkan penurunan kadar bioetanol. Begitu juga dengan perlakuan penambahan urea melebihi kadar urea 4 g/l dapat menyebabkan penurunan kadar bioetanol.

Gambar 4.8 grafik hubungan antara lama fermentasi dan variasi kadar urea terhadap kadar bioetanol dari sampah organik, mengilustrasikan kurva pertumbuhan mikroba yang terdapat dalam ragi tape. Pada perlakuan KOW2, K2W2, K4W2 dan K6W2 diduga mikroba yang terdapat dalam ragi tape berada pada fase lag (adaptif). Pada fase ini mikroba masih melakukan penyesuaian diri terhadap lingkungan yang baru dan belum terjadi peningkatan jumlah sel, sehingga kemampuan mikroba untuk mengurai substrat menjadi bioetanol masih rendah. Perlakuan KOW4, K2W4, K4W4 dan K6W4 menghasilkan kadar bioetanol yang tinggi dibanding perlakuan lain, sehingga dapat dikatakan mikroba yang terdapat dalam ragi tape berada pada fase eksponensial. Pada fase ini mikroba tumbuh dan membelah dengan kecepatan maksimum artinya jumlah sel mikroba menjadi lebih banyak sehingga gula yang terurai menjadi bioetanol semakin banyak. Perlakuan KOW6, K2W6, K4W6 dan K6W6 mulai terjadi penurunan kadar bioetanol. Hal ini diduga ketersediaan substrat mulai habis sehingga pertumbuhan mikroba akan berhenti. Dengan demikian mikroba yang terdapat dalam keempat perlakuan tersebut dapat dikatakan berada pada fase stasioner.

Sedangkan pada perlakuan KOW8, K2W8, K4W8 dan K6W8 diduga mikroba berada pada fase kematian. Hal ini dapat dilihat dari rendahnya kadar bioetanol yang dihasilkan akibat jumlah sel mikroba yang mati lebih banyak dibanding mikroba yang masih hidup.

Gandjar *dkk* (2006) menjelaskan bahwa selama proses fermentasi, sel khamir mengalami fase-fase pertumbuhan yang meliputi: fase lag (tahap adaptasi pada lingkungan baru), fase eksponensial (tahap pembelahan sel yang sangat aktif), fase stasioner (tahap penurunan aktivitas sel) dan fase kematian sel. Nester *dkk* (2007) menambahkan bahwa pada fase log (eksponensial), mikroba akan menghasilkan produk metabolit primer yang lebih banyak dibanding pada fase-fase lain. Sedangkan metabolit sekunder akan terbentuk lebih banyak pada fase stasioner. Metabolit sekunder yang terbentuk bisa berupa antibiotik yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba lain.

Data hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar bioetanol tertinggi yang diperoleh dari fermentasi sampah organik hanya mencapai 2,01%. Hal ini tentunya masih jauh dari kadar bioetanol yang dihasilkan dari bahan baku berpati seperti ketela pohon. Penelitian yang telah dilakukan oleh Asngad dan Suparti (2009) melaporkan bahwa kadar bioetanol tertinggi yang dihasilkan dari gaplek ketela pohon varietas mukibat yaitu sebesar 53,27% dicapai pada lama fermentasi 10 hari dengan dosis ragi 100 gram. Dengan demikian bioetanol sebagai produk metabolit primer hasil fermentasi sampah organik belum bisa digunakan sebagai campuran bahan bakar minyak. Untuk bisa digunakan sebagai campuran bahan bakar minyak maka kadar bioetanol yang dihasilkan harus mencapai 99,5%.

Secara umum proses fermentasi akan mengubah 1 molekul glukosa menjadi 2 molekul bioetanol dan 2 molekul CO<sub>2</sub>. Gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan mencapai 35% volume, sehingga untuk memperoleh bioetanol yang berkualitas baik harus dilakukan pembersihan terhadap gas CO<sub>2</sub>. Kadar bioetanol yang dihasilkan dari proses fermentasi biasanya hanya 8-10% sehingga untuk memperoleh bioetanol dengan kadar 95% diperlukan proses destilasi bertingkat dengan cara mengumpalkan hasil destilasi pertama ke unit destilasi selanjutnya. Sedangkan untuk memperoleh bioetanol dengan kadar 99,5% perlu dilakukan pemurnian lebih lanjut dengan cara *Azeotropic destilasi* (Anindyawati, 2009).

#### 4.3 Interelasi Ayat-Ayat Kauniyah dengan Hasil Penelitian

Sampah merupakan suatu hasil dari aktivitas manusia yang sudah tidak digunakan dan dianggap sebagai sesuatu yang menjijikkan. Bahkan bagi sebagian besar orang, sampah merupakan salah satu sumber masalah bagi kehidupan. Padahal, sesuatu yang dianggap buruk menurut manusia belum tentu buruk dihadapan Allah dan sesuatu yang dianggap baik menurut manusia belum tentu baik dihadapan Allah. Hal ini tercantum dalam surat Al-baqarah ayat 216 yang berbunyi:

كُتِبَ عَلَيْكُمُ الْقِتَالُ وَهُوَ كُرْهُ لَكُمْ وَعَسَىٰ أَنْ تَكْرَهُوا شَيْئًا وَهُوَ خَيْرٌ لَّكُمْ وَعَسَىٰ أَنْ تُحِبُّوا شَيْئًا وَهُوَ شَرٌّ لَّكُمْ وَاللَّهُ يَعْلَمُ وَأَنْتُمْ لَا تَعْلَمُونَ ﴿٢١٦﴾

*Artinya: Diwajibkan atas kamu berperang, padahal itu tidak menyenangkan bagimu. Tetapi boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal ia tidak baik bagimu. Allah Mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui.*

Penanganan masalah sampah di Indonesia, belum dilakukan secara maksimal. Hal ini dapat dilihat diberbagai media massa adanya dampak negatif yang diakibatkan oleh sampah seperti: banjir maupun longsor. Oleh karena itu sebagai umat Islam sudah selayaknya untuk selalu melakukan kebaikan demi kemaslahatan manusia. Apalagi Allah SWT dalam surat Ali-Imran ayat 110 menjelaskan bahwa sebaik-baik umat adalah umat Islam.

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ  
 وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِّنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ ﴿١١٠﴾

*Artinya: Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Diantara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik.*

Sebutan sebaik-baik umat pada ayat diatas adalah dimaksudkan sebagai kelebihan umat Islam dari umat yang lain. Islam mengajarkan dan menganjurkan untuk berbuat kebaikan dan menjauhi kejelekan. Umat Islam harus menjadi pemimpin dan pelopor dalam segala bidang kebajikan sebagai upaya dalam mewujudkan rahmat bagi alam semesta (Wardhana, 2004). Berdasarkan spirit dari surat Ali-Imran ayat 110, diharapkan penelitian tentang pemanfaatan sampah sebagai bioetanol dapat menjadi sumbangan dari segelintir umat Islam sebagai sebaik-baik umat.

Bioetanol merupakan sumber energi alternatif yang dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar minyak. Berdasarkan data hasil penelitian tentang pembuatan bioetanol dari sampah organik menunjukkan bahwa kadar bioetanol

tertinggi adalah 2,01% diperoleh pada lama fermentasi 4 hari dengan penambahan urea 4 g/l. Penambahan urea melebihi 4 g/l ataupun kurang dari 4 g/l maka kadar bioetanol yang dihasilkan rendah. Begitu juga ketika lama fermentasi yang digunakan kurang dari 4 hari ataupun lebih dari 4 hari maka kadar bioetanol yang dihasilkan lebih rendah dibanding pada lama fermentasi 4 hari. Firman Allah dalam surat Al-Furqan ayat 2 menjelaskan bahwa segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah sudah diatur sesuai dengan ketentuan-Nya.

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُن لَّهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا ﴿٢﴾

*Artinya: Yang memiliki kerajaan langit dan bumi, tidak mempunyai anak, tidak ada sekutu bagi-NYA dalam kekuasaan (-NYA), dan Dia menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran-ukuran dengan tepat.*

Rendahnya kadar bioetanol yang dihasilkan dari penelitian fermentasi sampah organik, tentunya belum dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar kendaraan bermotor. Oleh karena itu untuk mendapatkan bioetanol dengan kemurnian tinggi perlu dilakukan destilasi bertingkat. Penggunaan bioetanol sebagai campuran bahan bakar kendaraan bermotor diharapkan mampu mengurangi polusi udara akibat pembakaran yang tidak sempurna dari bensin. Menurut Chandel *dkk* (2007), bahwa peningkatan konsumsi bahan bakar minyak dapat menyebabkan bahaya bagi kesehatan dan menyebabkan efek rumah kaca. Hal ini dikarenakan hasil pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar minyak berupa zat toksik yang berbahaya. Sedangkan campuran bioetanol dengan bahan bakar minyak mampu mengurangi emisi gas berbahaya. Dengan demikian

penggunaan bioetanol sebagai campuran bahan bakar merupakan solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan kelangkaan bahan bakar minyak dan juga masalah pencemaran lingkungan.

