

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik, waktu fermentasi, dan kombinasi keduanya terhadap produksi biogas. Penelitian ini memperoleh beberapa data meliputi :

1. Jumlah tiap bakteri (CFU/mL) dari *Acetobacter aceti*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Cellulomonas* sp., *Cellvibrio* sp., *Cytophaga* sp., *Lactobacillus plantarum*, dan *Pseudomonas* sp. dalam kultur cair dan jumlah bakteri aerob serta anaerob dari substrat (kotoran sapi dan bahan baku kompos).
2. Data perolehan biogas secara kualitatif (kadar metana) dan kuantitatif (volume biogas) dari tiap perlakuan.
3. Nilai pH, suhu, dan rasio C/N untuk mengetahui respon pertumbuhan bakteri dalam bioreaktor sebagai data pelengkap penelitian.

Jumlah tiap bakteri dari konsorsium bakteri hidrolitik (CFU/mL) dalam kultur cair, bakteri aerob dan anaerob pada substrat disajikan pada Lampiran 1. Jumlah masing-masing bakteri dari konsorsium bakteri hidrolitik terlihat berbeda-beda walaupun dengan nilai OD yang berkisar 0,2 (Lampiran 1). Bentuk dan jenis bakteri yang berbeda merupakan salah satu faktor yang menyebabkan perbedaan pada jumlah bakteri. Semakin besar ukuran bakteri, maka jumlah CFU/mL semakin sedikit, begitu

pula sebaliknya. Hal ini dapat dilihat melalui ukuran sel *Pseudomonas* sp. (0,5-1,0 x 1,5-4,0 μm) yang lebih kecil dibandingkan dengan *Cytophaga* sp. (0,3-0,8 x 1,5-15 μm), sehingga jumlah CFU/mL untuk *Pseudomonas* sp. yang lebih banyak ($3,8 \times 10^{17}$) dibandingkan dengan jumlah *Cytophaga* sp. ($4,5 \times 10^9$) meskipun keduanya memiliki OD berkisar 0,2. Penambahan konsorsium bakteri hidrolitik berperan dalam proses hidrolisis substrat dengan kotoran sapi sebagai sumber bakteri metanogen untuk pembentukan biogas. Hasil produksi biogas dengan perlakuan variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi serta kombinasi keduanya terhadap produksi biogas dari campuran bahan baku kompos dan kotoran sapi perbandingan 1:1 diuraikan masing-masing sebagai berikut.

4.1.1 Pengaruh variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik terhadap produksi biogas

Data kadar metana dan volume biogas pada tiap perlakuan variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik berturut-turut disajikan pada Lampiran 2 dan Lampiran 3. Data tersebut diuji dengan menggunakan *One Sampel Kolmogorov-Smirnov* untuk mengetahui data tersebut berdistribusi normal atau tidak. Hasil uji normalitas pengaruh variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik terhadap kadar metana dan volume biogas ditampilkan pada Lampiran 7. Hasil uji normalitas untuk kadar metana menunjukkan angka 0,107 dan volume biogas menunjukkan angka 0,205 (lebih besar dari 0,05) sehingga dapat disimpulkan data berdistribusi normal. Lalu dilanjutkan dengan *Levene Test* untuk mengetahui homogenitas varians data. Uji homogenitas menunjukkan varians data homogen dengan hasil perhitungan sebesar 0,071 untuk

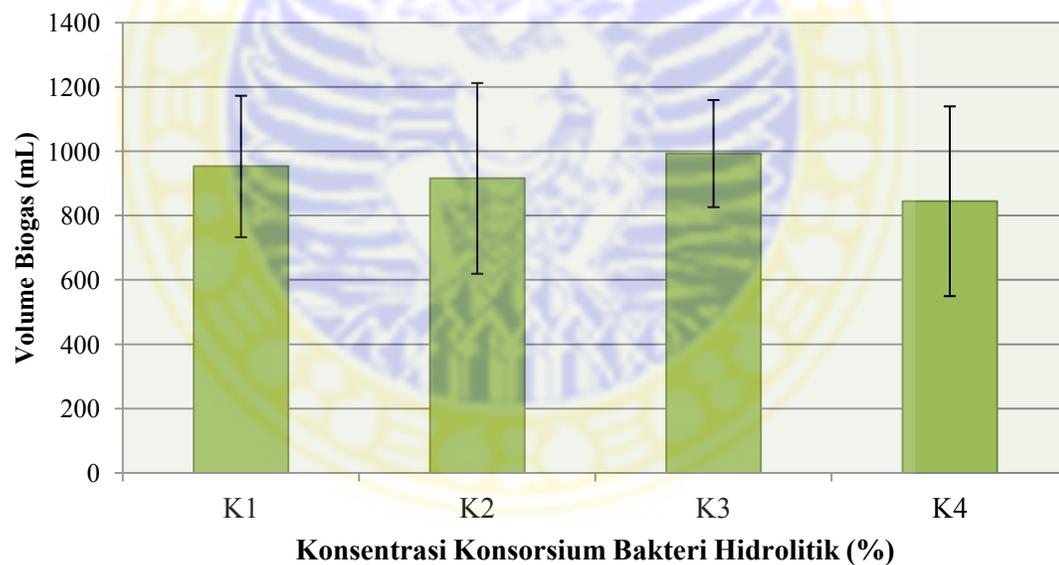
kadar metana dan 0,146 untuk volume biogas. Berdasarkan hasil uji tersebut, data kadar metana dan data volume biogas dilanjutkan dengan uji ANOVA satu arah dengan derajat signifikansi 5 %.

Hasil uji analisis varians (ANOVA) satu arah dengan derajat signifikansi 5 % pada data tersebut menunjukkan signifikansi 0,000 untuk kadar metana (lebih kecil dari 0,05) (Lampiran 8). Berdasarkan hasil uji, maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 dan terima H_1 , yaitu ada pengaruh variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik terhadap kadar metana dari campuran bahan baku kompos dengan kotoran sapi pada perbandingan 1:1. Sedangkan, hasil uji analisis varians (ANOVA) satu arah dengan derajat signifikansi 5 % pada data variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik terhadap volume biogas menunjukkan signifikansi 0,524 (lebih besar dari 0,05) (Lampiran 8). Berdasarkan hasil tersebut maka keputusan yang diambil adalah tolak H_1 dan terima H_0 , yaitu tidak ada pengaruh variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik terhadap volume biogas dari campuran bahan baku kompos dengan kotoran sapi pada perbandingan 1:1. Data rata-rata kadar metana dan volume biogas pada tiap perlakuan variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik disajikan pada Tabel 4.1. Sedangkan, data rata-rata volume biogas yang tidak menunjukkan adanya pengaruh pada tiap perlakuan variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik ditampilkan pada Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Rata-rata kadar metana (%) dan volume biogas (mL) pada tiap variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik

Konsentrasi Konsorsium Bakteri Hidrolitik	Rata-Rata Kadar Metana (%)	Rata-Rata Volume Biogas (mL)
K1	64,73 ± 2,06 ^a	953,26 ± 219,94
K2	68,55 ± 1,31 ^b	916,19 ± 296,63
K3	70,45 ± 1,07 ^c	993,27 ± 166,53
K4	70,82 ± 1,04 ^c	845,13 ± 295,09

Keterangan : Angka yang disertai dengan huruf berbeda menunjukkan perbedaan signifikansi pada uji *Duncan* ($p=0,05$).

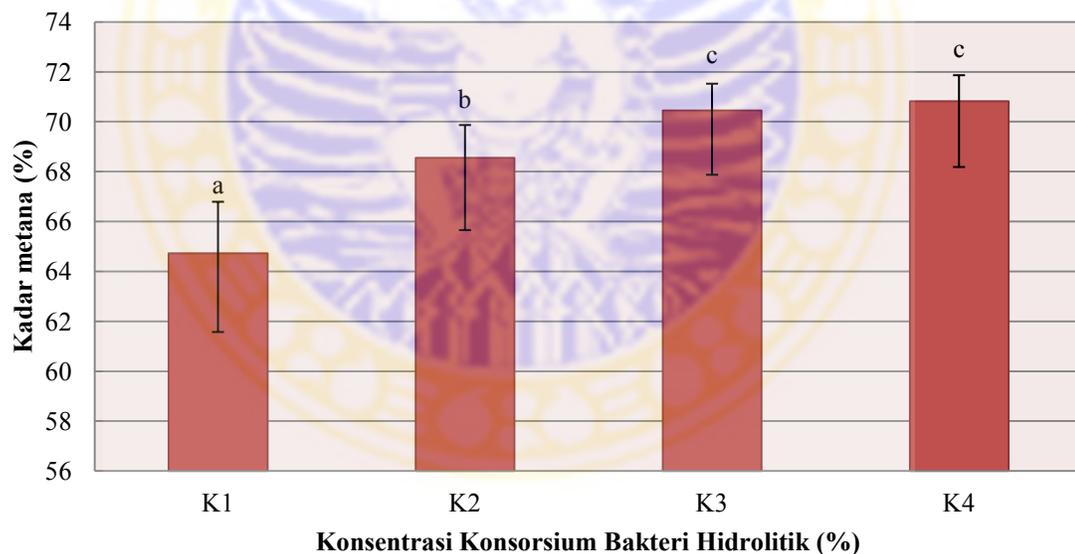


Gambar 4.1 Nilai rata-rata volume biogas (mL) pada tiap konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik. K1=0%, K2=5%, K3=10%, dan K4=15%.

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat diketahui bahwa volume biogas pada tiap perlakuan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik tidak berbeda jauh satu dengan yang lainnya. Hal ini terjadi karena simpangan baku yang terlalu besar pada tiap

perlakuan. Data tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi konsorsium 10 % (K3) menghasilkan volume biogas tertinggi dengan nilai 993,27 mL.

Selanjutnya, untuk mengetahui adanya perbedaan nyata pada perlakuan variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik terhadap kadar metana, maka dilanjutkan dengan uji *Duncan* dengan derajat signifikansi 5 %. Hasil uji *Duncan* tersebut ditampilkan pada Lampiran 9. Pengaruh dan perbedaan signifikansi dari tiap variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik terhadap kadar metana dapat diketahui dari kenaikan kadar metana yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



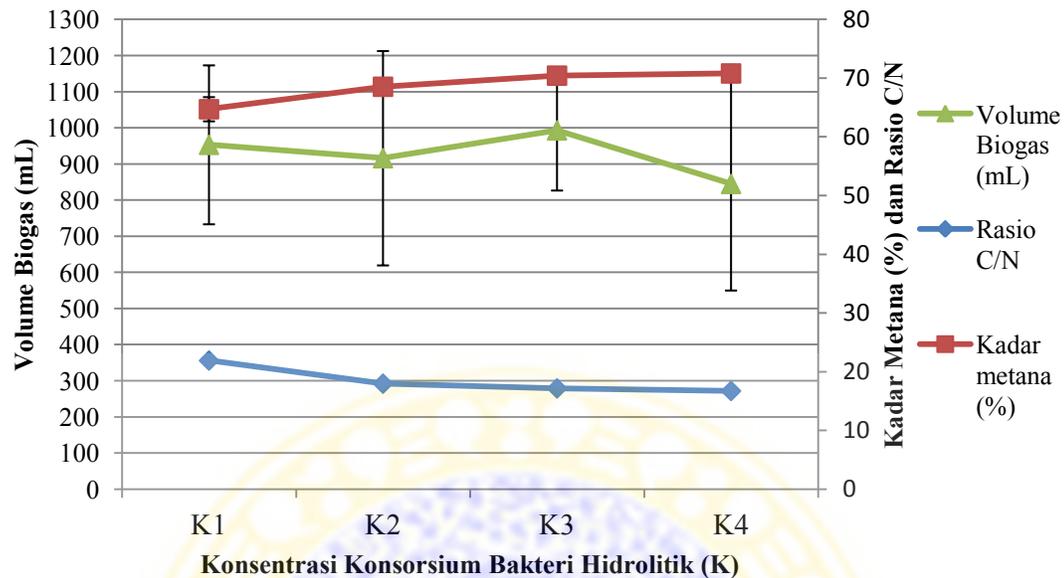
Gambar 4.2 Nilai rata-rata kadar metana (%) pada tiap konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik. Gambar yang disertai dengan huruf berbeda menunjukkan perbedaan signifikansi pada uji *Duncan* ($p=0,05$). K1=0%, K2=5%, K3=10% dan K4=15%.

Berdasarkan Gambar 4.2, dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara perlakuan K1, K2, dan K3. Sedangkan pada perlakuan K3 tidak

menunjukkan beda signifikan dengan perlakuan K4, namun kenaikan kadar metana tetap ada. Perlakuan K3 memberikan rata-rata kadar metana sebesar 70,45 % dan perlakuan K4 sebesar 70,82 %. Hasil data ini menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik diiringi dengan kenaikan kadar metana.

Jika menghubungkan antara Gambar 4.1 dan 4.2 bahwa semakin tinggi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik yang diberikan, diiringi pula dengan meningkatnya kadar metana sedangkan volume biogas memiliki nilai yang tidak jauh berbeda pada tiap perlakuan. Produksi biogas yang baik jika memiliki volume biogas yang tinggi dan kualitas kadar metana yang tinggi pula. Secara ekonomis, perlakuan K3 dapat memberikan kadar metana dan volume biogas yang tinggi sebesar 70,45 % dan 993,27 mL.

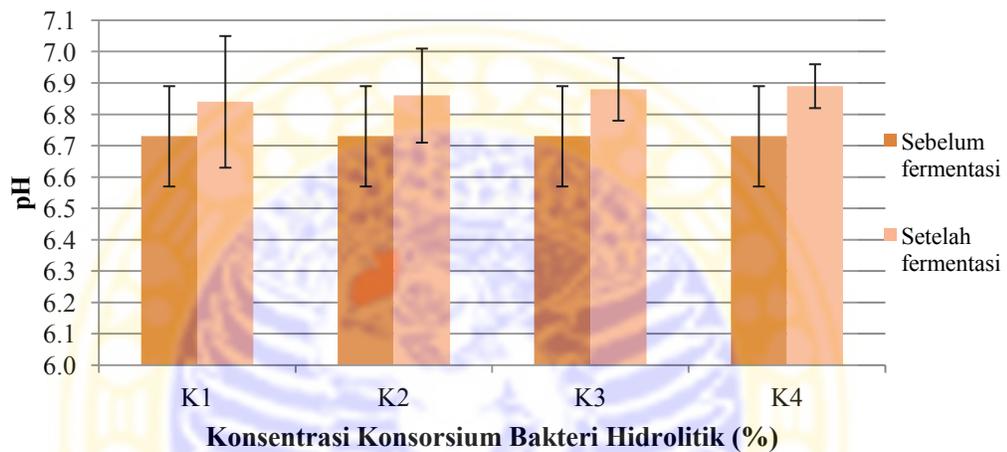
Pemberian variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik terhadap produksi biogas dapat menyebabkan penurunan rasio C/N. Data rasio C/N sebelum dan setelah fermentasi ditampilkan pada Lampiran 4. Kadar metana, volume biogas, dan rasio C/N pada perlakuan variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dapat dilihat pada Gambar 4.3.



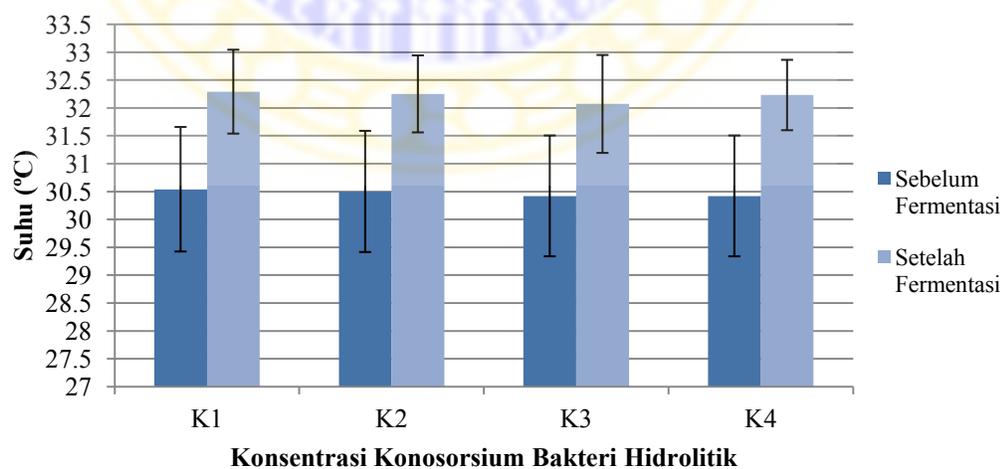
Gambar 4.3 Kadar metana, volume biogas, dan rasio C/N pada tiap konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik. K1=0%, K2=5%, K3=10% dan K4=15%.

Berdasarkan Gambar 4.3, diketahui bahwa perlakuan variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik menurunkan rasio C/N. Hasil perhitungan rasio C/N sebelum fermentasi yaitu sebesar 38,91, sedangkan rasio C/N setelah fermentasi berkisar antara 16,74 sampai 21,92. Perlakuan K4 mengalami penurunan rasio C/N tertinggi sebesar 56,97 %. Semakin tinggi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik yang diberikan, maka nilai rasio C/N semakin menurun. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik maka rasio C/N semakin berkurang, ini diiringi juga dengan semakin meningkatnya kadar metana (Gambar 4.3). Namun, ini tidak berlaku pada volume biogas. Karena hasil uji statistika menunjukkan bahwa variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik tidak berpengaruh terhadap volume biogas.

Selain dari rasio C/N, aktivitas dari bakteri dalam konsorsium bakteri hidrolitik dapat dilihat pada kenaikan nilai pH (Gambar 4.4) dan suhu (Gambar 4.5) substrat setelah proses fermentasi. Data rata-rata pH dan suhu (sebelum dan setelah fermentasi) ditampilkan pada Lampiran 5 dan Lampiran 6.



Gambar 4.4 Rata-rata pH sebelum dan setelah fermentasi pada tiap konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik. K1=0%, K2=5%, K3=10% dan K4=15%.



Gambar 4.5 Rata-rata suhu sebelum dan setelah fermentasi pada tiap konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik. K1=0%, K2=5%, K3=10% dan K4=15%.

Berdasarkan Gambar 4.4 dan 4.5, rata-rata pH dan suhu meningkat setelah proses fermentasi. pH sebelum fermentasi sama pada tiap perlakuan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik yaitu 6,73. Nilai pH naik setelah fermentasi dengan kisaran 6,84-6,89. Perlakuan dengan nilai pH akhir tertinggi yaitu pada K4 sebesar 6,89. Sebelum fermentasi, rata-rata suhu berkisar 30,42-30,54°C. Sedangkan, rata-rata suhu setelah fermentasi yaitu 32,07-32,29°C. Suhu tersebut rata-rata mengalami kenaikan 2°C setelah fermentasi.

4.1.2 Pengaruh variasi waktu fermentasi terhadap produksi biogas

Data kadar metana dan volume biogas dengan perlakuan variasi waktu fermentasi disajikan pada Lampiran 2 dan 3. Kemudian data diuji dengan menggunakan *One Sampel Kolmogorov-Smirnov* untuk mengetahui data berdistribusi normal atau tidak. Hasil uji normalitas pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar metana dan volume biogas ditampilkan pada Lampiran 7. Hasil uji normalitas dari kadar metana menunjukkan angka 0,107 sedangkan untuk volume biogas menunjukkan angka 0,205 (lebih besar dari 0,05), sehingga dapat disimpulkan data berdistribusi normal. Lalu, dilanjutkan dengan *Levene Test* untuk mengetahui homogenitas varians data. Uji homogenitas data kadar metana menunjukkan varians data homogen dengan hasil perhitungan sebesar 0,902 dan varians data untuk volume biogas menunjukkan data tidak homogen dengan hasil perhitungan sebesar 0,003 (kurang dari 0,05). Berdasarkan hasil uji tersebut, data kadar metana dengan varians

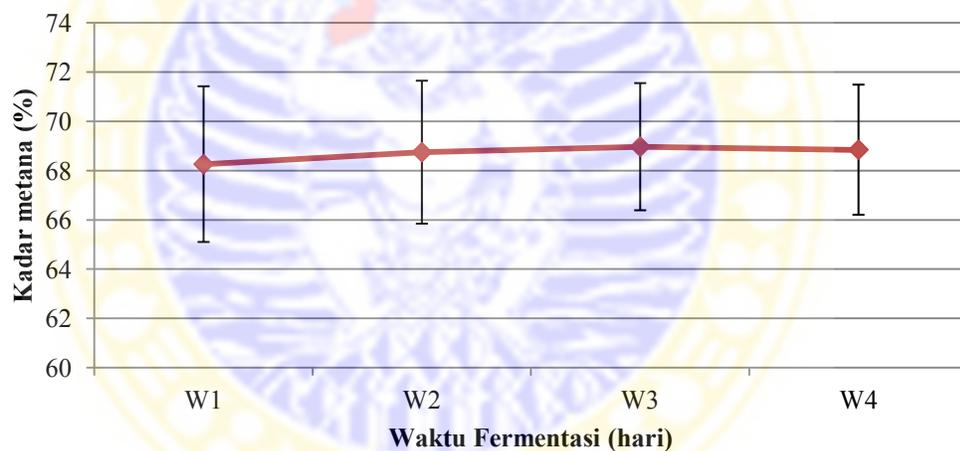
data homogen dilanjutkan dengan uji ANOVA satu arah sedangkan volume biogas dilanjutkan dengan uji *Brown-Forsythe* menggunakan derajat signifikansi 5 %.

Hasil uji ANOVA satu arah dengan derajat signifikansi 5 % pada data pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar metana menunjukkan signifikansi 0,933 (lebih besar dari 0,05) (Lampiran 8). Berdasarkan hasil tersebut maka keputusan yang diambil adalah tolak H_1 dan terima H_0 , yaitu tidak ada pengaruh variasi waktu fermentasi terhadap kadar metana dari campuran bahan baku kompos dengan kotoran sapi pada perbandingan 1:1. Hasil uji uji *Brown-Forsythe* untuk volume biogas menunjukkan angka 0,000 (lebih kecil dari 0,05) yang ditampilkan pada Lampiran 8. Berdasarkan hasil tersebut maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 dan terima H_1 , yaitu ada pengaruh variasi waktu fermentasi terhadap volume biogas dari campuran bahan baku kompos dengan kotoran sapi pada perbandingan 1:1. Data rata-rata kadar metana dan volume biogas pada tiap perlakuan waktu fermentasi disajikan pada Tabel 4.2. Perlakuan waktu fermentasi tidak berpengaruh terhadap kadar metana dapat diketahui dari rata-rata kadar metana yang tidak beda jauh pada tiap perlakuan (Gambar 4.6).

Tabel 4.2 Rata-rata kadar metana (%) dan volume biogas (mL) pada tiap waktu fermentasi

Waktu Fermentasi	Rata-Rata Kadar Metana (%)	Rata-Rata Volume Biogas (mL)
W1	68,26 ± 3,16	633,65 ± 228,71 ^a
W2	68,74 ± 2,90	1025,46 ± 97,71 ^b
W3	68,96 ± 2,58	1048,97 ± 257,55 ^b
W4	68,84 ± 2,64	999,78 ± 97,51 ^b

Keterangan : Angka yang disertai dengan huruf berbeda menunjukkan perbedaan signifikansi pada uji *Games-Howell* ($p=0,05$).

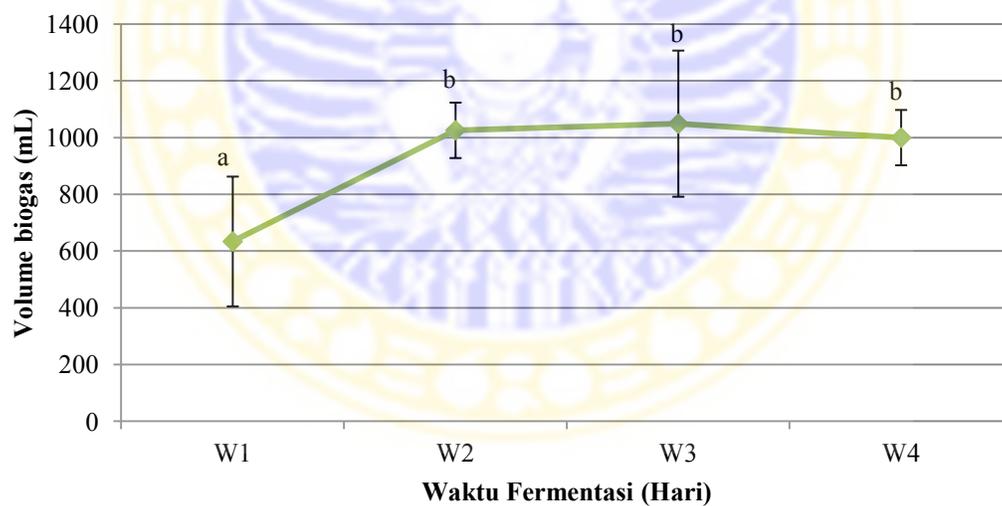


Gambar 4.6 Nilai rata-rata kadar metana (%) pada tiap waktu fermentasi. W1=10 hari, W2=20 hari, W3= hari, dan W4= 40 hari.

Berdasarkan Gambar 4.6, dapat diketahui bahwa kadar metana tidak berbeda jauh pada tiap perlakuan. Namun, kadar metana tetap mengalami kenaikan walaupun tidak signifikan dari perlakuan W1 menuju W2, W3 hingga W4. Nilai rata-rata kadar metana tertinggi sebesar 68,96 % dihasilkan oleh perlakuan W3. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu fermentasi tidak selalu sebanding dengan kenaikan kadar

metana (%). Oleh karena itu, dengan waktu fermentasi 10 hari, 20 hari, 30 hari, dan 40 hari tidak berpengaruh terhadap kadar metana.

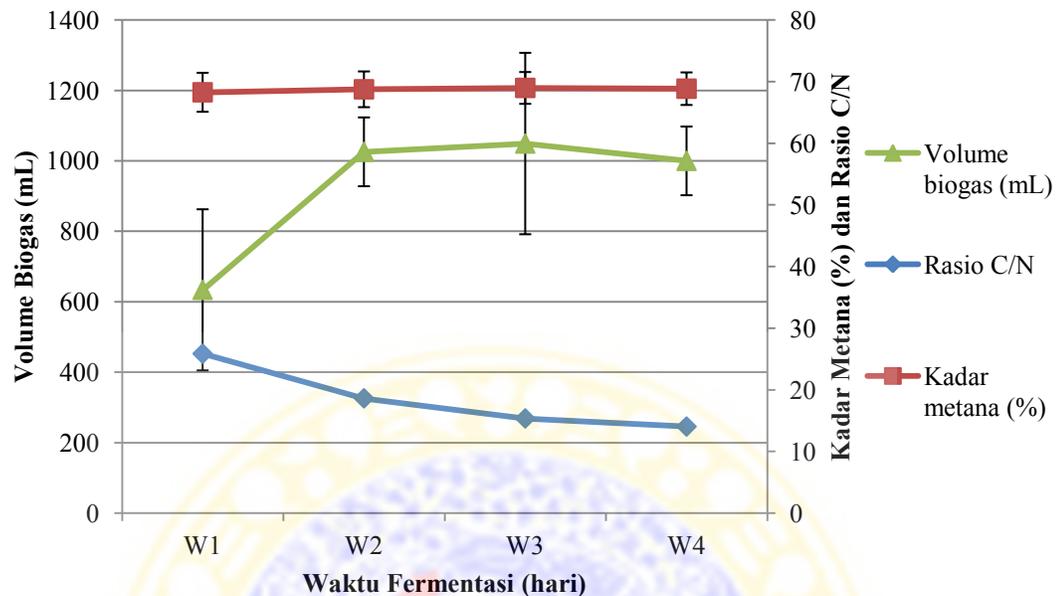
Selanjutnya, untuk mengetahui adanya perbedaan nyata pada perlakuan waktu fermentasi terhadap volume biogas dilakukan uji *Games-Howell* dengan derajat signifikansi 5 %. Hasil uji *Games-Howell* tersebut ditampilkan pada Lampiran 9. Hasil uji tersebut menunjukkan perbedaan yang signifikan antara perlakuan W1 dengan W2, W3, dan W4. Sedangkan perlakuan W2, W3, dan W4 tidak berbeda signifikan. Pengaruh dan perbedaan signifikansi dari tiap variasi waktu fermentasi terhadap volume biogas ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Nilai rata-rata volume biogas (mL) pada tiap waktu fermentasi. Gambar yang disertai dengan huruf berbeda menunjukkan perbedaan signifikansi pada uji *Games-Howell* ($p=0,05$). W1=10 hari, W2=20 hari, W3= hari, dan W4= 40 hari.

Berdasarkan Gambar 4.7, dapat diketahui bahwa W1 berbeda signifikan dengan perlakuan W2, W3, dan W4. Perlakuan W3 memberikan rata-rata volume biogas tertinggi sebesar 1048,97 mL atau setara dengan 34,97 mL/hari. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu fermentasi sebanding dengan kenaikan volume biogas (mL). Jika menghubungkan antara Gambar 4.5 dan Gambar 4.6, gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu fermentasi maka tidak ada pengaruh terhadap kadar metana sedangkan mengalami peningkatan pada volume biogas. Produksi biogas yang baik yaitu memiliki volume dan kualitas kadar metana yang tinggi. Berdasarkan pengamatan pada Gambar 4.6 dan 4.7 maka dapat diketahui volume biogas dan kadar metana tertinggi dihasilkan pada perlakuan waktu 30 hari (W3). Secara ekonomis, perlakuan waktu fermentasi 20 hari juga dapat digunakan untuk produksi biogas dengan kadar metana 68,74 % dan volume biogas sebesar 1025,46 mL atau setara dengan 51,27 mL/hari .

Pengaruh waktu fermentasi terhadap produksi biogas juga dapat diamati dari rasio C/N. Data rasio C/N hasil perlakuan waktu fermentasi dapat dilihat pada Lampiran 4. Kadar metana, volume biogas, dan penurunan rasio C/N dari perlakuan variasi waktu fermentasi dapat dilihat pada Gambar 4.8.

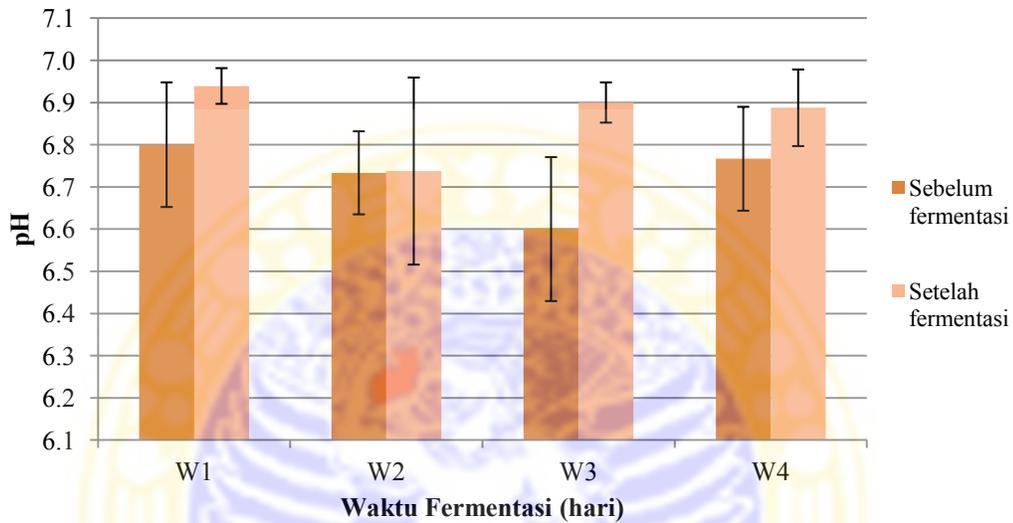


Gambar 4.8 Kadar metana, volume biogas, dan rasio C/N pada tiap waktu fermentasi. W1=10 hari, W2=20 hari, W3= hari, dan W4= 40 hari.

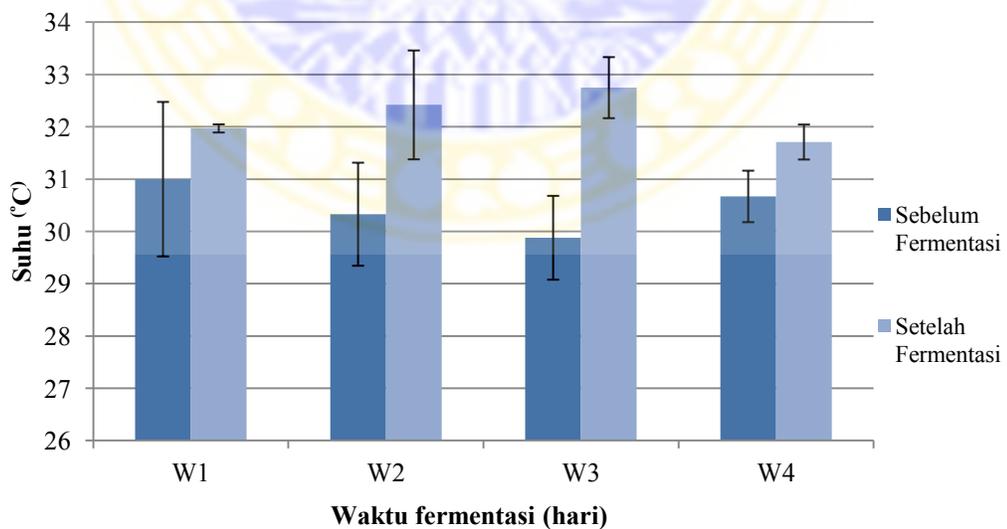
Berdasarkan Gambar 4.8, diketahui bahwa perlakuan waktu fermentasi menurunkan rasio C/N. Hasil perhitungan rasio C/N sebelum fermentasi yaitu sebesar 38,91. Setelah proses fermentasi, nilai rasio C/N berkurang dari setiap perlakuan yang berkisar antara 33,56-63,94 %. Perlakuan W4 mengalami penurunan rasio C/N tertinggi dengan nilai akhir rasio C/N yaitu 14,03, tetapi penurunan rasio C/N pada perlakuan ini tidak berbeda jauh dengan perlakuan W3 dengan nilai akhir rasio C/N yaitu 15,35. Dari data ini, diketahui bahwa semakin lama waktu fermentasi menyebabkan rasio C/N menurun dan diiringi dengan kenaikan volume biogas tetapi kadar metana yang tidak berbeda jauh pada tiap perlakuan.

Selain dari rasio C/N, selama proses fermentasi juga mengalami kenaikan nilai pH dan suhu. Data rata-rata pH dan suhu (sebelum dan setelah fermentasi)

ditampilkan pada Lampiran 5 dan 6. Pengaruh waktu fermentasi terhadap pH dan suhu dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



Gambar 4.9 Rata-rata pH sebelum dan setelah fermentasi pada tiap waktu fermentasi. W1=10 hari, W2=20 hari, W3= hari, dan W4= 40 hari.



Gambar 4.10 Rata-rata suhu sebelum dan setelah fermentasi pada tiap waktu fermentasi. W1=10 hari, W2=20 hari, W3= hari, dan W4= 40 hari.

Berdasarkan Gambar 4.9 dan 4.10, rata-rata pH dan suhu mengalami kenaikan pada tiap perlakuan waktu fermentasi. pH sebelum fermentasi pada tiap perlakuan berkisar antara 6,6-6,8. Nilai pH naik setelah fermentasi dengan kisaran 6,74-6,94. Sebelum fermentasi, rata-rata suhu berkisar 29,88-31,00°C. Sedangkan, rata-rata suhu mengalami kenaikan 2°C setelah fermentasi dengan kisaran 31,71-32,75°C.

4.1.3 Pengaruh variasi kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi terhadap produksi biogas

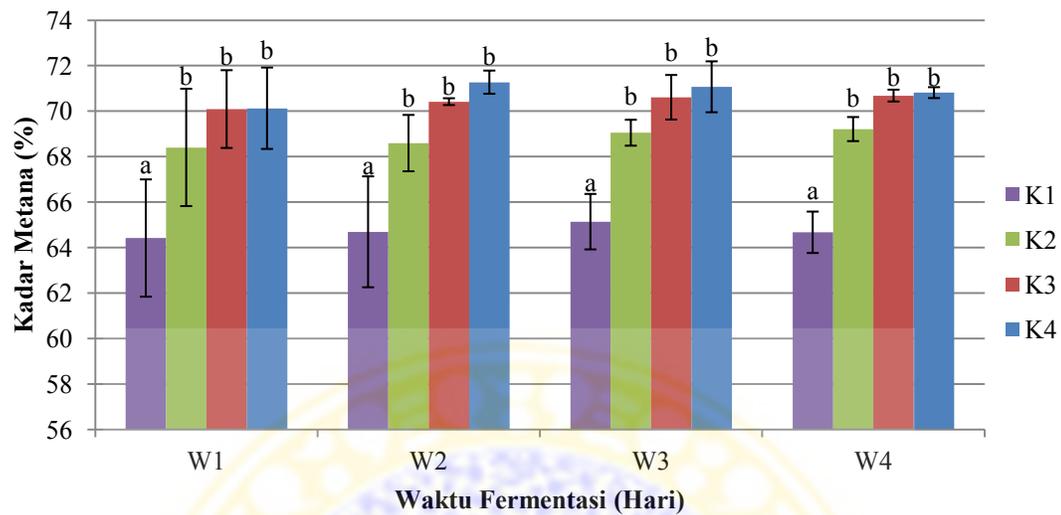
Data kadar metana dan volume biogas pada perlakuan variasi kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi disajikan pada Lampiran 2 dan 3. Kemudian data diuji dengan menggunakan *One Sampel Kolmogorov-Smirnov* untuk mengetahui data berdistribusi normal atau tidak. Hasil uji normalitas pengaruh kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi terhadap kadar metana dan volume biogas ditampilkan pada Lampiran 7. Hasil uji normalitas dari kombinasi tersebut menunjukkan angka 0,107 untuk kadar metana dan 0,205 untuk volume biogas (lebih besar dari 0,05). Data hasil perhitungan tersebut menyimpulkan bahwa data berdistribusi normal.

Lalu dilanjutkan dengan *Levene Test* untuk mengetahui homogenitas varians data. Uji homogenitas kombinasi tersebut menunjukkan varians data tidak homogen. Dibuktikan dengan hasil perhitungan homogenitas sebesar 0,000 untuk kadar metana dan 0,017 untuk volume biogas (kurang dari 0,05). Berdasarkan hasil uji

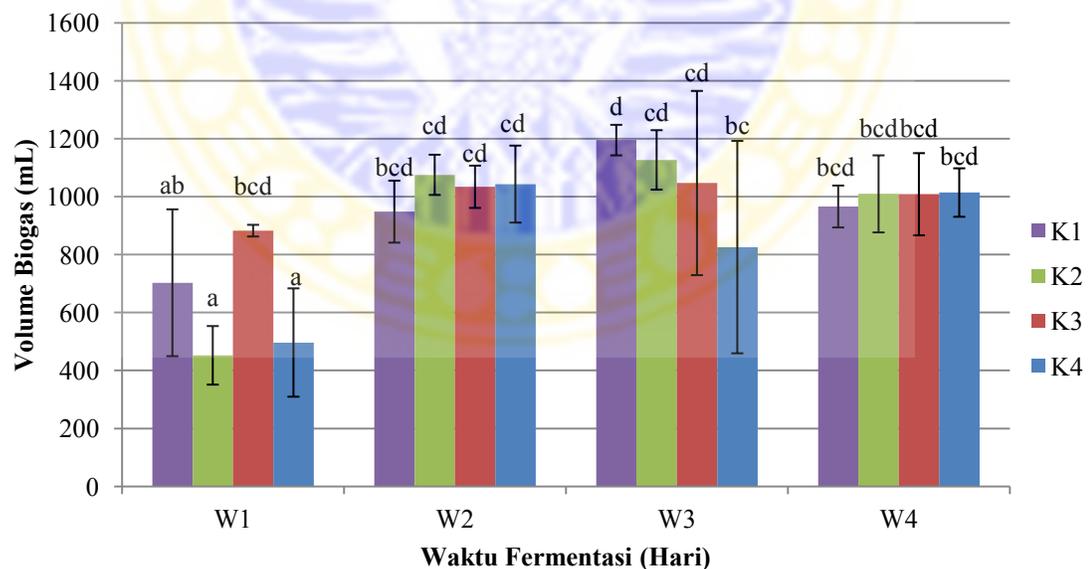
menunjukkan bahwa varians data tidak homogen. Kemudian data tersebut dilanjutkan dengan uji *Brown-Forsythe* menggunakan derajat signifikansi 5 %.

Hasil uji *Brown-Forsythe* dengan derajat signifikansi 5 % menunjukkan signifikansi 0,000 untuk kadar metana dan 0,006 untuk volume biogas (lebih kecil dari 0,05) (Lampiran 8). Berdasarkan hasil tersebut maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 dan terima H_1 , yaitu ada pengaruh pada perlakuan variasi kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi terhadap produksi biogas dari campuran bahan baku kompos dengan kotoran sapi pada perbandingan 1:1.

Selanjutnya, untuk mengetahui adanya perbedaan nyata pada perlakuan variasi kombinasi antara konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi terhadap produksi biogas dilakukan uji *Games-Howell* dengan derajat signifikansi 5 % (Lampiran 9). Hasil uji tersebut menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada beberapa perlakuan kombinasi. Pengaruh dan perbedaan signifikansi dari tiap kombinasi dapat diketahui dari nilai rata-rata kadar metana dan volume biogas yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



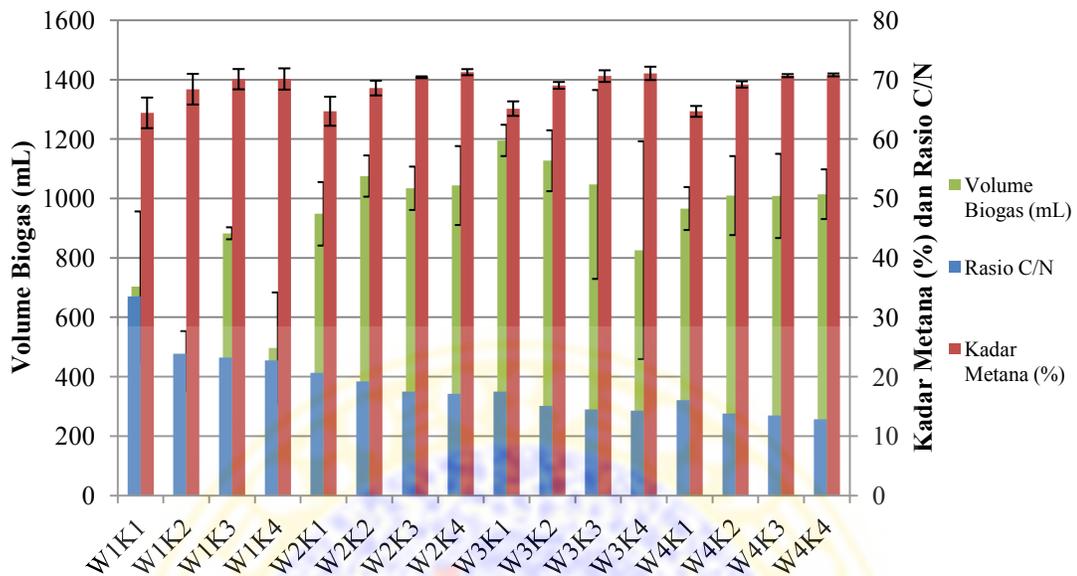
Gambar 4.11 Nilai rata-rata kadar metana (%) pada tiap kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi. Gambar yang disertai dengan huruf berbeda menunjukkan perbedaan signifikansi pada uji *Games-Howell* ($p=0,05$). W1= 10 hari, W2= 20 hari, W3= 30 hari, W4= 40 hari, K1=0%, K2=5%, K3=10 %, dan K4=15 %.



Gambar 4.12 Nilai rata-rata volume biogas (mL) pada tiap kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi. Gambar yang disertai dengan huruf berbeda menunjukkan perbedaan signifikansi pada uji *Games-Howell* ($p=0,05$). W1= 10 hari, W2= 20 hari, W3= 30 hari, W4= 40 hari, K1=0%, K2=5%, K3=10 %, dan K4=15 %.

Berdasarkan Gambar 4.11 dapat diketahui bahwa tiap kombinasi perlakuan tanpa pemberian konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik memiliki kadar metana yang beda signifikan dengan kombinasi perlakuan yang diberi konsorsium bakteri hidrolitik. Kombinasi perlakuan dengan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 5 %, 10 %, dan 15 % dan waktu fermentasi 10, 20, 30 dan 40 hari memiliki kadar metana yang tidak beda signifikan. Sedangkan Gambar 4.12 menunjukkan bahwa tiap kombinasi perlakuan memberikan hasil volume biogas yang berbeda. Berdasarkan hasil tersebut kombinasi W2K3 dipilih sebagai kombinasi yang secara efisien dapat menghasilkan produksi biogas cukup baik jika dibandingkan dengan kombinasi yang lainnya. Pada kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 10 % dan waktu fermentasi 20 hari memiliki kadar metana 70,41 % dengan volume biogas 1034,37 mL atau setara dengan 51,71 mL/hari.

Pengaruh kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi terhadap produksi biogas juga dapat diamati dari rasio C/N. Data rasio C/N dari hasil perlakuan kombinasi tersebut dapat dilihat pada Lampiran 4. Pada data tersebut terjadi penurunan rasio C/N setelah proses fermentasi. Kadar metana, volume biogas, dan rasio C/N dari perlakuan variasi kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi dapat diamati pada Gambar 4.13.

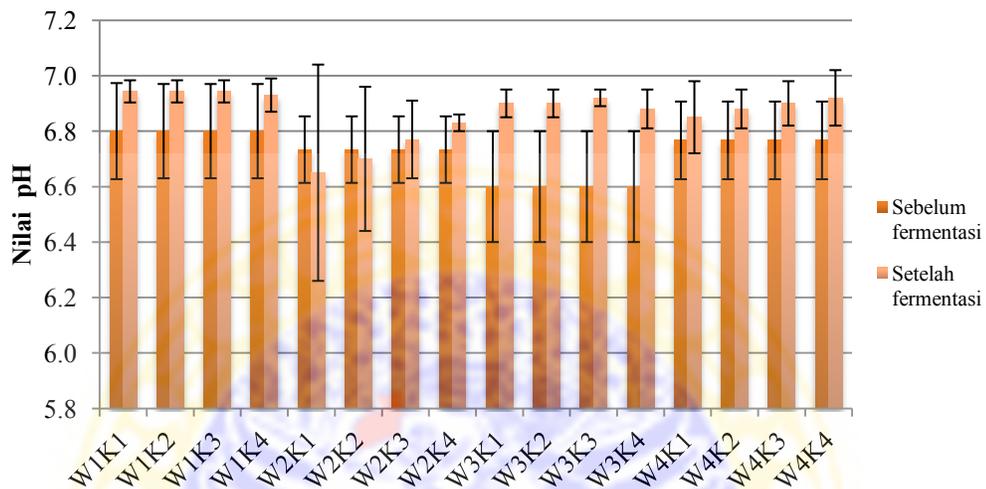


Kombinasi Konsentrasi Konsorsium Bakteri Hidrolitik dan Waktu Fermentasi

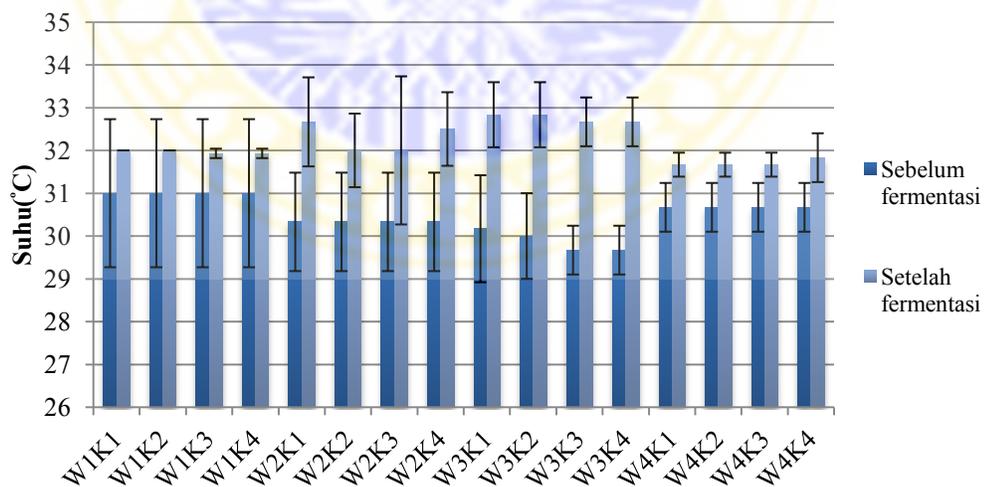
Gambar 4.13 Kadar metana, volume biogas, dan rasio C/N pada tiap kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi. W1= 10 hari, W2= 20 hari, W3= 30 hari, W4= 40 hari, K1=0%, K2=5%, K3=10 %, dan K4=15 %.

Berdasarkan Gambar 4.13, dapat diketahui bahwa perlakuan kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi menurunkan rasio C/N. Rasio C/N sebelum fermentasi yaitu sebesar 38,91 pada tiap perlakuan. Nilai akhir rasio C/N dari tiap perlakuan berkisar antara 12,81 hingga 33,52 atau mengalami penurunan sebanyak 13,85 %-67,07 %. Gambar 4.13 juga menunjukkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi menyebabkan rasio C/N semakin menurun, hal ini diiringi pula dengan peningkatan kadar metana namun tidak berlaku pada volume biogas.

Selain dari rasio C/N, selama proses fermentasi juga mengalami kenaikan nilai pH (Gambar 4.14) dan suhu (Gambar 4.15) pada substrat dalam bioreaktor.



Gambar 4.14 Rata-rata pH sebelum dan setelah fermentasi pada tiap kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi. W1= 10 hari, W2= 20 hari, W3= 30 hari, W4= 40 hari, K1=0%, K2=5%, K3=10 %, dan K4=15 %.



Gambar 4.15 Rata-rata suhu sebelum dan setelah fermentasi pada tiap kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi. W1= 10 hari, W2= 20 hari, W3= 30 hari, W4= 40 hari, K1=0%, K2=5%, K3=10 %, dan K4=15 %.

Nilai rata-rata pH pada tiap kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi ditampilkan pada Lampiran 5. Berdasarkan Gambar 4.14 dapat diketahui bahwa perlakuan kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi sebelum fermentasi memiliki pH dengan rata-rata yaitu 6,6-6,8. Setelah proses fermentasi, rata-rata pH mengalami kenaikan dengan kisaran 6,65-6,94. Selanjutnya, dapat diamati pula kenaikan suhu pada substrat akibat adanya aktivitas oleh bakteri dalam bioreaktor. Rata-rata suhu pada tiap kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi ditampilkan pada Lampiran 6. Berdasarkan Gambar 4.15 dapat diketahui bahwa kombinasi perlakuan tersebut dapat menaikkan suhu fermentasi. Rata-rata suhu sebelum fermentasi yaitu 29,67-31,00°C pada tiap perlakuan. Sedangkan rata-rata suhu mengalami kenaikan 2°C setelah fermentasi dengan kisaran 31,67-32,83°C.

4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini, parameter yang digunakan untuk mengetahui hasil produksi biogas adalah kadar metana (%) dan volume biogas (mL). Substrat yang digunakan yaitu campuran dari bahan baku kompos dan kotoran sapi. Bahan baku kompos terdiri dari sampah sayuran dan buah-buahan. Bahan baku kompos dan kotoran sapi banyak mengandung bahan organik kompleks, oleh karena itu membutuhkan penambahan bakteri hidrolitik untuk proses dekomposisinya (Faerus *et al.*, 2011). Pada tiap perlakuan juga diberi penambahan air dengan jumlah yang sama

yaitu 200 mL. Kadar air pada penelitian ini lebih dari 80 %, kadar air ini baik untuk proses fermentasi anaerob. Ini sejalan dengan pendapat Ratnaningsih *et al.* (2009) yang menyatakan bahwa kadar air untuk pembentukan biogas yaitu berkisar 91-93 %. Jika kadar air rendah di dalam substrat, maka akan terjadi akumulasi asam-asam organik yang menyebabkan terjadinya hambatan pada saat fermentasi berlangsung, dan akhirnya mempengaruhi produksi biogas (Rahmayanti *et al.*, 2013). Hal ini didukung juga oleh pendapat Polprasert (1980) yang menyatakan bahwa dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme tergantung kadar air. Selain itu, air berperan sebagai pelarut yang dibutuhkan pada reaksi-reaksi biokimia dalam pembentukan biogas (Ivonny, 2014).

Proses perombakan bahan-bahan organik oleh mikroorganisme juga memerlukan waktu untuk memperoleh hasil yang optimal. Selain itu, pemberian variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik juga dapat membantu dalam hidrolisis substrat. Masing-masing pengaruh variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik, waktu fermentasi, dan kombinasi keduanya terhadap produksi biogas diuraikan sebagai berikut.

4.2.1 Pengaruh variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik terhadap produksi biogas

Berdasarkan hasil uji statistika, pemberian konsorsium bakteri hidrolitik berpengaruh terhadap kadar metana. Selain itu, variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik menunjukkan beda nyata yang signifikan pada perlakuan tertentu. Pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi konsorsium bakteri

hidrolitik yang diberikan, maka kadar metana semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin tinggi jumlah bakteri yang diberikan maka semakin cepat suatu substrat untuk dirombak menjadi monomer-monomernya selama proses fermentasi berlangsung (Darisa, 2014).

Proses fermentasi terdiri atas beberapa tahapan, yaitu hidrolisis, asidogenesis, acetogenesis, dan metanogenesis. Pada tahap hidrolisis, bahan organik kompleks tersebut terdekomposisi secara aerobik oleh bakteri hidrolitik karena di dalam bioreaktor sistem *batch* ini masih terdapat ruangan yang mengandung oksigen (Sato *et al.*, 2009). Bakteri-bakteri dalam konsorsium bakteri hidrolitik tersusun dari berbagai jenis bakteri, yaitu bakteri selulolitik, proteolitik, lipolitik dan amilolitik. Bakteri selulolitik dalam konsorsium bakteri antara lain *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Cellulomonas* sp., *Cellvibrio* sp., *Cytophaga* sp., dan *Pseudomonas* sp. (Rao, 2007). Bakteri tersebut berperan dalam menghidrolisis selulosa menjadi glukosa. Bakteri proteolitik dan lipolitik dalam konsorsium terdiri atas genus *Bacillus* dan *Pseudomonas* (Schlegel, 1994; Chumaidi, 2009). Bakteri proteolitik akan memecah protein menjadi asam amino, sedangkan bakteri lipolitik memecah lipid menjadi asam lemak dan gliserol. Genus bakteri amilolitik dalam konsorsium bakteri yaitu *Bacillus* dan *Lactobacillus*. Bakteri tersebut menghidrolisis amilum menjadi gula-gula sederhana (Pelczar, 1988).

Pada tahap selanjutnya, kadar oksigen dalam bioreaktor semakin menurun karena oksigen telah dikonsumsi oleh bakteri hidrolitik. Kemudian bakteri acidogenik dalam konsorsium seperti *Cytophaga* sp. dan *Lactobacillus plantarum* menggunakan

hasil perombakan substrat dari tahap hidrolisis menghasilkan asam organik seperti asam laktat, butirat, propionate, amonia, alkohol dan hidrogen (Sato *et al.*, 2009).

Tahap selanjutnya yaitu asetogenesis, bakteri seperti *Acetobacter aceti* yang ada di dalam konsorsium bakteri hidrolitik akan merombak produk dari tahap asidogenesis menjadi asam asetat, hidrogen, dan karbondioksida. Kemudian bakteri metanogen dalam kotoran sapi seperti *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, dan *Methanococcus* mengubah produk asetogenesis menjadi metana, karbondioksida, dan air (Darisa, 2014).

Pada penelitian ini menunjukkan bahwa kadar metana pada perlakuan tanpa pemberian konsorsium bakteri hidrolitik berbeda signifikan jika dibandingkan dengan perlakuan yang disertai pemberian konsorsium bakteri hidrolitik (K2, K3, dan K4). Perlakuan dengan penambahan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik sebesar 15 % (K4) memiliki kadar metana tertinggi yaitu 70,82 %. Hasil ini tidak berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 10 %, yaitu sebesar 70,45 %. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi konsorsium 10 % merupakan konsentrasi yang baik untuk produksi biogas. Kadar metana ini lebih tinggi dari hasil penelitian Ji-shi *et al.* (2006), dengan konsentrasi konsorsium 20 % menghasilkan kadar metana 65,2 %. Perbedaan konsorsium yang digunakan merupakan salah satu faktor penyebab kadar metana lebih tinggi pada penelitian ini.

Sehingga, dari uraian di atas dapat diketahui bahwa secara ekonomis pemberian konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 10 % cukup baik dalam produksi biogas. Hal ini didukung oleh penelitian Darisa (2014) yang menyatakan bahwa

konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 10 % merupakan konsentrasi dengan hasil kadar metana tertinggi yaitu sebesar 70,86 %.

Sedangkan, hasil uji statistika pada data volume biogas menunjukkan bahwa pemberian variasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik tidak berpengaruh terhadap volume biogas. Tidak ada pengaruh pada perlakuan ini terhadap volume biogas karena simpangan baku tiap perlakuan yang terlalu besar. Hasil ini berbeda dengan hasil penelitian Forster *et al.* (2008) yang menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi konsorsium yang diberikan (konsentrasi 20 %), maka produksi biogas semakin meningkat (7.136 mL dalam 5 liter substrat). Sedangkan, pada penelitian ini dengan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 10 % menghasilkan volume biogas tertinggi yaitu 993,27 mL dan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 15 % memiliki volume biogas 845,13 mL dalam 500 mL substrat. Perbedaan hasil ini disebabkan karena jumlah substrat dan inokulum yang digunakan berbeda.

Uraian di atas menjelaskan bahwa pada konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 10 % merupakan konsentrasi yang efisien dalam produksi biogas dari campuran substrat bahan baku kompos dengan kotoran sapi pada perbandingan 1:1. Pada konsentrasi tersebut jumlah bakteri dan jumlah substrat seimbang. Sehingga, tidak terjadi kompetisi antara bakteri satu dengan yang lainnya untuk memperoleh nutrisi. Karena selain faktor konsentrasi konsorsium bakteri, faktor lain yang mempengaruhi produksi biogas yaitu konsentrasi substrat. Pada konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 15 % dengan jumlah substrat yang tetap (tidak ada penambahan substrat) dan jumlah bakteri yang diberikan meningkat, maka persaingan

antar bakteri untuk memperoleh nutrisi semakin tinggi. Akibatnya, produktivitas beberapa bakteri tidak optimal dan menyebabkan kematian. Sehingga kadar metana antara konsentrasi 10 % dan 15 % tidak beda signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa secara ekonomis menggunakan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 10 % dapat menghasilkan kadar metana (70,45 %) dan volume biogas (993,27 mL) yang cukup baik.

Berdasarkan Gambar 4.3, konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik juga dapat menurunkan rasio C/N. Keberadaan karbon dan nitrogen dalam substrat sangat penting untuk kehidupan bakteri dalam bioreaktor. Karbon dibutuhkan untuk mensuplai energi sedangkan nitrogen dibutuhkan untuk memperbaiki sel bakteri (Rahmayanti *et al.*, 2013). Nilai rasio C/N sebelum fermentasi pada tiap perlakuan sama yaitu 38,91. Penurunan rasio C/N tertinggi yaitu pada perlakuan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 15 % dengan rasio akhir C/N yaitu 16,74 atau mengalami penurunan sebesar 56,97 %. Berdasarkan rasio C/N substrat setelah fermentasi, sisa substrat tersebut dapat digunakan untuk pemupukan karena memenuhi syarat rasio C/N sebagai pupuk. Suriadikarta *et al.* (2004) dalam Yenni *et al.* (2012) menyatakan bahwa rasio C/N yang dapat digunakan untuk pemupukan berkisar 12-25.

Semakin tinggi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik, maka jumlah bakteri dalam substrat meningkat. Hal ini menyebabkan rasio C/N terus menurun karena proses dekomposisi senyawa biopolimer menjadi lebih optimal. Dekomposisi bahan organik yang tinggi diiringi pula dengan peningkatan kadar metana, sedangkan

volume biogas tidak selalu meningkat (Gambar 4.3). Kemudian, pengaruh konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik terhadap produksi biogas juga dapat dilihat dari pH. Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik yang diberikan, nilai pH akhir fermentasi semakin meningkat. Nilai pH naik setelah fermentasi dengan kisaran 6,84-6,89. Perlakuan dengan nilai pH akhir tertinggi yaitu pada K4 sebesar 6,89. Peningkatan pH tersebut karena senyawa hasil proses asetogenesis dikonversi menjadi H_2 , CO_2 , H_2O , dan CH_4 serta akumulasi hasil pemecahan protein menjadi NH_4^+ (amonium) yang kemudian mudah membentuk senyawa yang bersifat basa (Wagiman, 2007).

Pengaruh konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik terhadap produksi biogas juga dapat diamati dari suhu selama proses fermentasi. Sebelum fermentasi, rata-rata suhu berkisar 30,42-30,54°C. Suhu tersebut merupakan suhu yang dapat digunakan selama proses pembentukan biogas (Chotimah *et al.*, 2011). Sedangkan, rata-rata suhu setelah fermentasi yaitu 32,07-32,29°C. Suhu tersebut rata-rata mengalami kenaikan 2°C setelah fermentasi. Karena selama proses fermentasi secara anaerob biasanya terjadi kenaikan suhu $\pm 2^\circ C$ akibat aktivitas mikroorganisme (Deublein dan Steinhauser, 2008). Aktivitas tersebut mengeluarkan kalor sehingga suhu meningkat.

4.2.2 Pengaruh variasi waktu fermentasi terhadap produksi biogas

Berdasarkan hasil uji statistika, perlakuan variasi waktu fermentasi tidak berpengaruh terhadap kadar metana dan berpengaruh terhadap volume biogas (Lampiran 8). Tidak adanya pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar metana dapat

diamati pada Gambar 4.6, sedangkan pengaruh waktu fermentasi terhadap volume biogas dapat diamati pada Gambar 4.7. Pada Gambar 4.6 tersebut menunjukkan bahwa rata-rata kadar metana tiap perlakuan waktu tidak berbeda jauh satu dengan yang lainnya, yaitu berkisar antara 68,26 % - 68,96 %. Pada perlakuan waktu fermentasi 10 hari (W1), 20 hari (W2), dan 30 hari (W3) nilai kadar metana sedikit meningkat seiring dengan lamanya waktu fermentasi. Sedangkan, kadar metana pada perlakuan waktu fermentasi 40 hari menurun tetapi dengan nilai yang tidak jauh berbeda dengan perlakuan waktu yang lainnya. Tidak adanya pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar metana didukung pula dari hasil penelitian Forster *et al.* (2008), yaitu dengan lama waktu fermentasi 20 hingga 60 hari, kadar metana tetap konstan sebesar 49,9 %. Hal ini menunjukkan bahwa proses dekomposisi substrat pada waktu fermentasi 20 hari cukup untuk menghasilkan kadar metana yang tinggi. Sehingga, penelitian lanjutan mengenai produksi biogas dengan parameter kadar metana pada periode waktu yang lebih pendek (0, 5, dan 10 hari) juga perlu dilakukan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui waktu terjadi peningkatan kadar metana yang eksponensial.

Selanjutnya, dari Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa volume biogas mengalami kenaikan dimulai dari perlakuan 10 hari (W1) menuju ke perlakuan 20 hari (W2), 30 hari (W3) dan 40 hari (W4). Tetapi pada perlakuan W2, W3, dan W4 menghasilkan volume biogas yang tidak beda signifikan. Pada ketiga perlakuan tersebut, waktu fermentasi 30 hari menunjukkan volume biogas tertinggi yakni 1048,97 mL dalam 500 mL substrat atau setara dengan 2,09 cm³/mL. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri

hidrolitik membutuhkan waktu untuk melakukan proses perombakan senyawa organik kompleks menjadi monomer-monomernya (Darisa, 2014). Pada perlakuan W1 (waktu fermentasi 10 hari) memiliki volume biogas paling rendah. Hal ini disebabkan karena jumlah bahan organik yang terdekomposisi lebih sedikit jika dibandingkan dengan hasil dekomposisi bahan organik pada perlakuan W2, W3 dan W4. Ini dapat dibuktikan pada Gambar 4.8, waktu fermentasi yang semakin lama akan menurunkan rasio C/N.

Rasio C/N dapat diamati dari substrat fermentasi yang digunakan. Selain faktor waktu fermentasi, produksi biogas juga dipengaruhi oleh konsentrasi substrat. Substrat pada bioreaktor tersusun atas berbagai macam sayuran, buah-buahan dan kotoran sapi yang tersusun atas bahan-bahan organik, khususnya karbon dan nitrogen. Karbon adalah unsur esensial yang dimanfaatkan bakteri untuk memperoleh energi, sedangkan nitrogen adalah unsur penyusun asam amino dan protein yang digunakan untuk pertumbuhan (Schlegel, 1994). Kedua unsur tersebut harus tersedia pada substrat dalam jumlah yang cukup. Rasio C/N yang relatif kecil tidak baik untuk proses pembentukan biogas karena akan meningkatkan emisi nitrogen sebagai amonium yang dapat menghalangi perkembangan bakteri (Khaerunnisa dan Rahmawati, 2013). Rasio C/N yang baik digunakan untuk produksi biogas berkisar 25-30 (Triatmojo, 2004). Rasio C/N awal pada penelitian ini yaitu 38,91. Selama proses fermentasi, rasio C/N berkurang dengan kisaran 33,56 % - 63,94 %. Pada waktu fermentasi 10 hari merupakan penurunan rasio C/N terendah, dari 38,91 menjadi 25,85. Sedangkan, perlakuan dengan penurunan rasio C/N tertinggi terjadi

pada waktu fermentasi selama 40 hari dengan nilai akhir C/N yaitu 14,03. Kemudian, jika mengamati rasio C/N substrat setelah fermentasi, sisa substrat tersebut dapat digunakan untuk pemupukan karena memenuhi syarat rasio C/N sebagai pupuk. Suriadikarta *et al.* (2004) dalam Yenni *et al.* (2012) menyatakan bahwa rasio C/N yang dapat digunakan untuk pemupukan berkisar 12-25.

Rasio C/N semakin menurun dengan semakin lamanya waktu fermentasi. Hal ini menyebabkan proses perombakan bahan - bahan organik semakin meningkat. Perombakan bahan organik yang meningkat sejalan dengan kenaikan kadar amonia dan hidrogen di dalam bioreaktor. Amonium pada konsentrasi tinggi dapat bersifat racun dan menghambat proses anaerobik (Fairus *et al.*, 2011). Peningkatan kadar hidrogen yang tinggi dan tidak diiringi dengan peningkatan jumlah bakteri metanogen dalam bioreaktor juga dapat menghambat pertumbuhan bakteri asetogenik (Al Saedi, 2008). Deublein dan Steinhauser (2008) menyatakan bahwa dalam keadaan hidrogen tinggi pada substrat, maka bakteri asetogenik akan menghasilkan asam butirat, propionate, valerat, dan etanol dalam jumlah yang tinggi. Sedangkan, pembentukan asam asetat, karbondioksida, dan hidrogen dalam jumlah yang lebih rendah. Rendahnya produk tersebut menyebabkan kadar metana yang dihasilkan menurun karena prekursor pembentukan metana adalah asam asetat, karbondioksida, dan hidrogen. Oleh karena itu, waktu fermentasi 40 hari (W4) menghasilkan kadar metana lebih rendah 0,12 % dan volume biogas yang menurun sebanyak 49,19 mL jika dibandingkan dengan W3. Pendapat ini didukung oleh hasil penelitian Chotimah *et al.* (2011) yaitu pada waktu fermentasi 42 hari menghasilkan volume biogas sebesar

11.490 L dalam 3,2 liter substrat, nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan waktu fermentasi 28 hari sebesar 33.675 L.

Selanjutnya, pada penelitian Darisa (2014) dengan waktu fermentasi selama empat minggu (28 hari) memiliki kadar metana tertinggi yaitu 61,36 %. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini, yaitu pada waktu fermentasi 30 hari (W3) menghasilkan kadar metana tertinggi dengan nilai 68,96 %. Nilai kadar metana ini tetapi tidak beda signifikan dengan perlakuan waktu yang lainnya. Selain kadar metana, volume biogas tertinggi juga terjadi pada waktu fermentasi 30 hari. Namun, volume biogas pada waktu fermentasi 20 hari, 30 hari, dan 40 hari tidak beda signifikan. Jika Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 dihubungkan, maka secara ekonomis waktu fermentasi 20 hari dapat menghasilkan produksi biogas lebih efisien dengan volume biogas 1025,46 mL dan kadar metana 68,74 %.

Selain itu, pengaruh waktu fermentasi terhadap produksi biogas juga dapat diamati dari pH. Waktu fermentasi yang semakin lama menyebabkan meningkatnya dekomposisi bahan organik. Hal ini diiringi dengan akumulasi amonium yang tinggi. Jumlah amonium yang tinggi di dalam substrat menyebabkan terjadinya peningkatan pH (Chotimah *et al.*, 2011). Hal ini dibuktikan pada Gambar 4.9 bahwa pH setelah fermentasi meningkat pada tiap variasi waktu fermentasi.

Selain pH, pengaruh waktu fermentasi juga dapat dilihat dari perubahan suhu selama proses fermentasi. Sebelum fermentasi, rata-rata suhu berkisar 29,88-31,00°C. Suhu antara 25-40°C merupakan suhu yang baik selama proses pembentukan biogas

(Chotimah *et al.*, 2011). Sedangkan, rata-rata suhu setelah fermentasi yaitu 31,71-32,75°C. Suhu tersebut rata-rata mengalami kenaikan 2°C setelah fermentasi. Suhu fermentasi sering dipengaruhi oleh suhu lingkungan, aktivitas mikroorganisme, pembentukan asam dan gas metana yang dihasilkan (Saputra *et al.*, 2010). Karena selama proses fermentasi secara anaerob biasanya terjadi kenaikan suhu $\pm 2^\circ\text{C}$ akibat aktivitas mikroorganisme (Deublein dan Steinhauser, 2008). Pada tahap pembentukan asam, bakteri mengubah glukosa menjadi asam asetat menghasilkan energi sebesar 4 mol ATP/mol glukosa (Mosey dan Fernandes, 1984). Gas metana yang dihasilkan mempunyai energi sebesar 35,8 kJ/L (Rittmann dan McCarty, 2001). Keberadaan energi dalam substrat menyebabkan terjadinya peningkatan suhu pada bioreaktor.

4.2.3 Pengaruh variasi kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi terhadap produksi biogas

Berdasarkan hasil uji statistika, kombinasi konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi berpengaruh terhadap produksi biogas (Lampiran 8). Pengaruh kombinasi antara konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi terhadap produksi biogas (kadar metana dan volume biogas) dapat diamati pada Gambar 4.11 dan 4.12. Berdasarkan Gambar 4.11 diketahui perlakuan kombinasi tanpa konsorsium bakteri hidrolitik memberikan kadar metana yang beda signifikan dengan perlakuan kombinasi yang diberi konsorsium bakteri hidrolitik. Penambahan konsorsium menyebabkan semakin banyak substrat yang terdekomposisi sehingga kadar metana yang dihasilkan semakin meningkat (Ivonny, 2014). Sedangkan pemberian konsentrasi konsorsium bakteri 5 %, 10 % dan 15 %

tidak berbeda signifikan pada tiap kombinasi perlakuan. Peningkatan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik tanpa disertai dengan penambahan substrat dapat menyebabkan terjadinya kompetisi antar bakteri untuk memperoleh nutrient. Hal ini berpengaruh terhadap kadar metana yang dihasilkan karena proses perombakan terjadi tidak optimal bahkan beberapa bakteri mengalami kematian.

Pada perlakuan kombinasi waktu fermentasi 30 hari dan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 0 % (W3K1) menghasilkan volume biogas tertinggi yakni 1195,50 mL dengan kadar metana 65,13 %. Sedangkan perlakuan waktu fermentasi 20 hari dan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik 15 % (W2K4) menunjukkan kadar metana tertinggi yaitu 71,27 % dan menghasilkan volume biogas sebesar 1043,53 mL. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi tingkat konsentrasi dan waktu fermentasi yang diberikan, tidak selalu diiringi dengan peningkatan kadar metana dan volume biogas.

Kemudian perlakuan W1K1, W2K1, W3K1 (tanpa pemberian konsorsium bakteri hidrolitik) menunjukkan peningkatan kadar metana dan volume biogas seiring dengan peningkatan waktu fermentasi. Walaupun kadar metana dan volume biogas ini lebih rendah jika dibandingkan dengan perlakuan yang diberi konsorsium bakteri hidrolitik. Ini membuktikan bahwa penambahan konsorsium bakteri hidrolitik sangat efektif dalam proses pembentukan biogas.

Pada perlakuan W3K4, W4K1, dan W4K4 kadar metana menurun, sedangkan perlakuan W3K4, W4K1, W4K2, dan W4K3 memiliki volume biogas yang menurun jika ditinjau dari perlakuan waktu fermentasi yang semakin lama. Penurunan kadar

metana dan volume biogas ini diduga karena pembentukan asam organik dan amonia terjadi terus-menerus dan terakumulasi. Asam organik yang meningkat tanpa diiringi peningkatan jumlah bakteri metanogen juga dapat menurunkan produksi biogas. Selain itu, semakin lama waktu fermentasi juga menyebabkan semakin berkurangnya nutrisi atau sumber energi bagi bakteri anaerob yang berdampak pada penurunan produktifitas dari bakteri anaerob (Padang *et al.*, 2011). Peningkatan amonia pada substrat juga menyebabkan bakteri metanogen inaktif, bahkan dapat menyebabkan kematian (Fairus *et al.*, 2011). Dekomposisi bahan organik yang terus meningkat juga menyebabkan akumulasi hidrogen jika tidak diiringi peningkatan jumlah bakteri metanogen, sehingga mengganggu aktivitas bakteri asetogenesis (Al Saedi, 2008). Hal tersebut menyebabkan produksi biogas yang dihasilkan terus berkurang.

Selanjutnya jika ditinjau dari peningkatan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik yang diberikan, semua perlakuan kombinasi memiliki kadar metana yang meningkat, sedangkan perlakuan W1K3, W2K2, W4K2, dan W4K4 memiliki volume biogas yang meningkat. Pada semua kombinasi kecuali W3K4, W4K1 dan W4K4 memiliki kadar metana yang meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi yang diberikan. Sedangkan, pada perlakuan kombinasi W1K3, W2K1, W2K2, W2K4, W3K1, W3K2 dan W4K4 memberikan volume biogas yang meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi konsorsium bakteri hidrolitik dan waktu fermentasi. Tahap-tahapan pembentukan biogas pada perlakuan ini diduga terjadi secara optimal, sehingga tidak terjadi penghambatan oleh akumulasi produk dari tahap sebelumnya dalam proses

pembentukan biogas. Keberadaan bakteri dalam jumlah yang tinggi dan waktu fermentasi yang cukup lama menyebabkan banyak bahan organik yang diubah menjadi monomer-monomernya (Darisa, 2014). Ini dapat dibuktikan dengan melihat Gambar 4.13 bahwa pemberian konsentrasi konsorsium dan waktu fermentasi yang meningkat diiringi dengan penurunan rasio C/N. Sehingga bahan organik yang terdekomposisi oleh bakteri semakin banyak, maka kadar metana dan volume biogas meningkat. Rasio C/N akhir dari substrat sisa proses fermentasi pada perlakuan variasi kombinasi ini berkisar 14,03-33,52. Sisa substrat ini dapat dimanfaatkan menjadi pupuk organik. Syarat rasio C/N yang baik untuk pemupukan berkisar 15-25 (Hamastuti *et al.*, 2012).

Selama proses fermentasi, nilai pH juga mempengaruhi hasil produksi biogas (Gambar 14). Karena pada rentang pH yang tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimal, bahkan dapat menyebabkan kematian sehingga mempengaruhi perolehan gas metana (Padang *et al.*, 2011). Menurut Hendroko *et al.* (2013), derajat keasamaan yang optimal untuk proses hidrolisis yaitu 5,0-7,0. Pada penelitian ini, saat sebelum fermentasi memiliki rentang pH berkisar 6,6-6,8. Data ini menunjukkan bahwa pH dari tiap perlakuan mendukung proses hidrolisis substrat selama proses fermentasi. Pada penelitian ini rata-rata pH setelah proses fermentasi mengalami kenaikan dengan kisaran 6,65-6,94. Kenaikan pH ini disebabkan oleh perombakan protein dan asam amino menjadi amonia (NH_3). Amonia merupakan salah satu senyawa basa dan meningkatkan alkalinitas (Suryandono dan Wagiman, 2004).

Faktor lain yang mempengaruhi produksi biogas yaitu suhu fermentasi. Lazuardi (2008) menyatakan bahwa suhu yang baik untuk proses pembentukan biogas berada dalam kisaran 20-40°C dan suhu optimal antara 28-30°C. Rata-rata suhu sebelum fermentasi pada tiap perlakuan, yaitu 29,67-31,00°C (Gambar 15). Sedangkan, rata-rata suhu setelah fermentasi yaitu 31,67-32,83°C. Data tersebut menunjukkan bahwa proses fermentasi dalam pembentukan biogas pada penelitian ini berada pada kondisi yang optimal. Suhu tersebut rata-rata mengalami kenaikan 2°C setelah fermentasi, karena selama proses fermentasi secara anaerob biasanya terjadi kenaikan suhu $\pm 2^\circ\text{C}$ akibat aktivitas mikroorganisme (Deublein dan Steinhauser, 2008). Selain itu gas metana yang dihasilkan dari proses fermentasi mempunyai energi sebesar 35,8 kJ/L (Rittmann dan McCarty, 2001). Oleh sebab itu, keberadaan energi tersebut menyebabkan suhu meningkat.

Hasil penelitian ini dapat diaplikasikan dalam dunia produksi biogas skala industri. Pengeluaran sedikit dan pendapatan yang banyak merupakan salah satu faktor menuju kesuksesan suatu industri biogas. Kombinasi W2K3 dipilih sebagai kombinasi yang secara efisien dapat menghasilkan produksi biogas cukup baik jika dibandingkan dengan kombinasi yang lainnya. Walaupun konsentrasi 10 % (K3) menghasilkan kadar metana yang tidak beda signifikan dengan konsentrasi 5 % (K2). Hal ini disebabkan karena rata-rata kadar metana pada konsentrasi 10 % (K3) mengalami kenaikan sebesar 1,64 % dari konsentrasi 5 % (K2). Pendapat ini didukung oleh pernyataan Gunawan (2013) yang menyatakan bahwa energi yang

terkandung dalam biogas tergantung dari kadar metana. Semakin tinggi kadar metana, semakin besar nilai kalor pada biogas. Sedangkan rata-rata kadar metana mengalami peningkatan sebesar 0,4 % dari konsentrasi konsorsium 10 % (K3) ke konsorsium 15 % (K4). Sehingga, secara ekonomis pemilihan konsentrasi konsorsium 10 % lebih efisien jika dibandingkan dengan konsentrasi konsorsium 15 %. Kombinasi W2K3 ini dapat menghasilkan kadar metana sebesar 70,41 % dan volume biogas sebanyak 1034,37 mL dalam 500 mL substrat.

