BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

Pengujian yang dilakukan meliputi pengukuran tekanan gas, temperatur gas, komposisi CH_4, komposisi CO_2, dan *relative humidity* (RH).

4.1.1 Data Hasil Penelitian

Pengambilan data dilakukan pada setiap variasi perbandingan kotoran kuda dengan air pada *mesophilic digester* yaitu 1:1, 1:2, dan 1:3. Kotoran kuda yang digunakan pada penelitian ini memiliki kadar air rata-rata sebesar 70.02% dengan massa kotoran kuda basah = 3,75 kg (kotoran kuda kering = 1,12 kg). Dari penelitian tersebut diperoleh data tekanan (terlampir), temperatur (terlampir), kandungan metana (CH_4), karbondioksida (CO_2), dan Relative Humidity (RH).

Tabel 4.1 Data Pengujian Komposisi Biogas Pada *Mesophilic Digester*

NO	Perbandingan Massa Kotoran Kuda (kg) Dengan Air (kg)	Parameter Uji	%
1	1:1	CH4	43,7
		CO2	21,5
		RH	91
2	1:2	CH4	53,1
		CO2	26,7
		RH	91
3	1:3	CH4	36,6
		CO2	22,2
		RH	91

Tabel 4.2 Data Pengujian Komposisi Biogas Pada Kondisi Tanpa Pemanasan

NO	Perbandingan Massa Kotoran Kuda (kg) Dengan Air (kg)	Parameter Uji	%
1	1:1	CH4	41.3
		CO2	19.4
		RH	91
2	1:2	CH4	48.7
		CO2	22.4
		RH	91
3	1:3	CH4	34.4
		CO2	21.1
		RH	91

4.1.2 Hasil Perhitungan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari produksi biogas (n_{biogas}), dimana data yang diketahui pada waktu penelitian adalah:

- Tekanan atmosfer (P) = 101,325 kPa
- Volume biogas (V_{biogas})

  Volume gas pada digester + volume saluran pipa + volume kotak penampung gas.

  1:1 = 5,698 Liter

  1:2 = 4,418 Liter

  1:3 = 2,658 Liter
- R universal = 8,314 kPa.L/mol.K

Contoh Perhitungan Data

a. Pada kondisi *mesophilic* (35^oC)

- Mol biogas (n_{biogas}) Perbandingan kotoran kuda dengan air 1:1

$$n_{1\,Biogas} = \frac{P_1\ x\ V}{R\ x\ T_1}$$

$$= \frac{(0{,}232 + 101{,}325(kPa))\ x\ 5{,}698(Liter)}{8{,}314(kPa.L/mol.K)\ x\ 301{,}48(K)}$$

$$= 2{,}30868.10^{-1}\,mol$$

$$n_{2\,Biogas} = \frac{P_2\ x\ V}{R\ x\ T_2}$$

$$= \frac{(3{,}132 + 101{,}325(kPa))\ x\ 5{,}698(Liter)}{8{,}314(kPa..L/molK)\ x\ 305{,}02(K)}$$

$$= 2{,}34705.10^{-1}\,mol$$

$$n_{biogas} = n_2 - n_1$$

$$= 2{,}34705.10^{-1}\,mol - 2{,}30868.10^{-1}\,mol$$

$$= 3{,}837.10^{-3}\,mol$$

Untuk data hasil perhitungan perbandingan lainnya pada *mesophilic* maupun temperatur ruang dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan 4.4.

4.1.3 Data Hasil Perhitungan

Tabel 4.3 Data Pengujian Untuk Produksi Biogas Pada Kondisi *Mesophilic* (35^{o}C)

No	Perbandingan Massa Kotoran Kuda (kg) Dengan Air (kg)	Produksi Biogas (mol)/1,12 kg Kotoran Kuda Kering
1	1:1	$3{,}837.10^{-3}$
2	1:2	$4{,}068.10^{-3}$
3	1:3	$4{,}57.10^{-4}$

Tabel 4.4 Data Pengujian Untuk Produksi Biogas Pada Kondisi Tanpa Pemanasan (Temperatur ruang 25-29^{o}C)

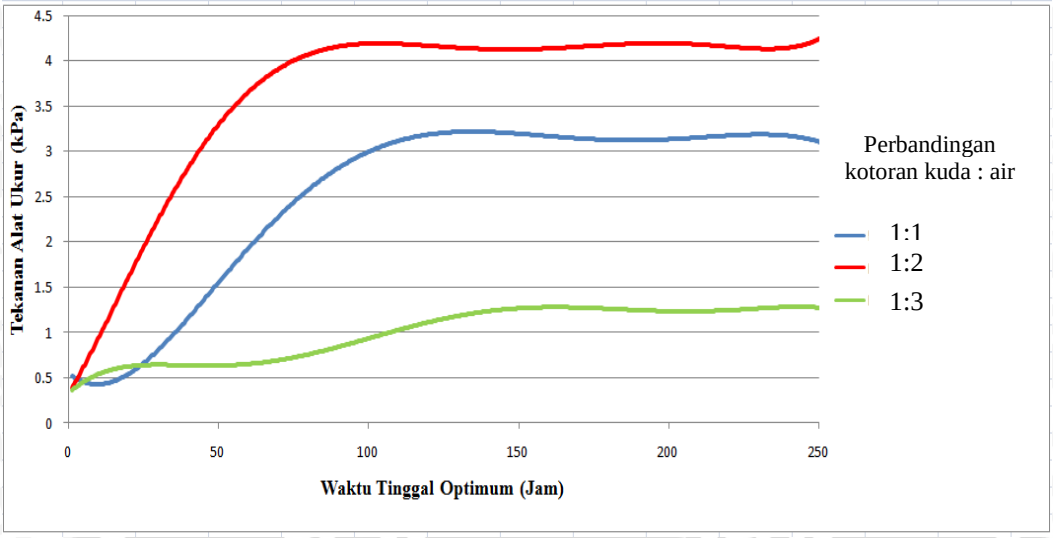
No	Perbandingan Massa Kotoran Kuda (kg) Dengan Air (kg)	Produksi Biogas (mol)/1,12 kg Kotoran Kuda Kering
1	1:1	$3{,}733.10^{-3}$
2	1:2	$3{,}879.10^{-3}$
3	1:3	$3{,}23.10^{-4}$

4.2 Analisa Grafik dan Pembahasan

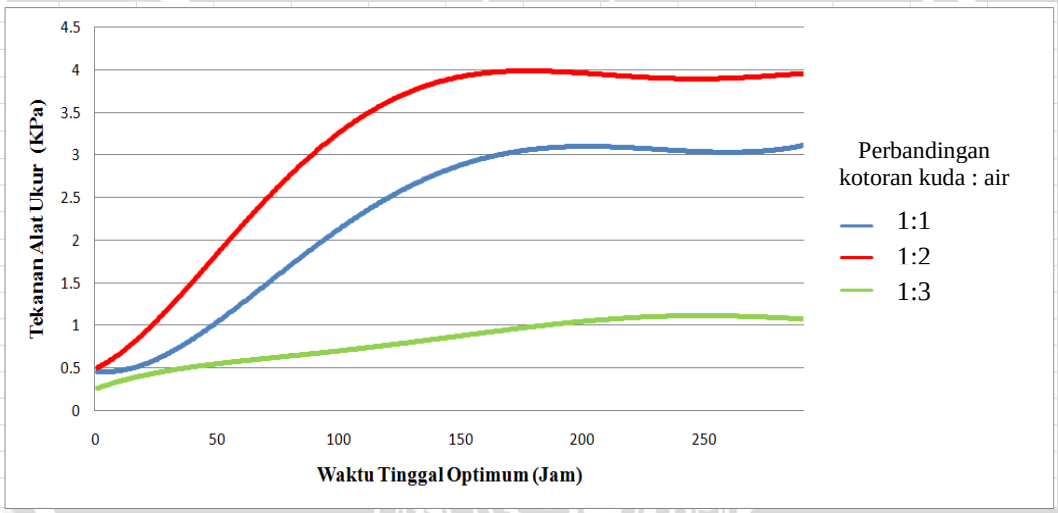
Analisa Grafik dan Pembahasan pada subbab ini dilakukan untuk mengetahui kecenderungan dari data hasil penelitian setiap variasi perbandingan kotoran kuda dengan air pada *mesophilic digester* terhadap produksi dan komposisi biogas. Data akan diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga mempermudah dalam melakukan analisa dan pembahasan.

4.2.1 Grafik Hubungan Antara Waktu Tinggal Optimum Dengan Tekanan Gas

Adapun grafik dari hubungan antara waktu tinggal optimum dengan tekanan biogas pada kondisi *mesophilic digester* (35^{o}C) dengan variasi perbandingan kotoran kuda dengan air dapat dilihat pada Gambar 4.1. Grafik tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik hubungan antara waktu tinggal optimum dengan tekanan biogas pada kondisi tanpa pemanasan (temperatur ruangan) yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Hubungan Antara Waktu Tinggal Optimum
Dengan Tekanan Gas Pada Kondisi *Mesophilic* (35^{o}C) Secara *Real Time*



Gambar 4.2 Hubungan Antara Waktu Tinggal Optimum
Dengan Tekanan Gas Pada Kondisi Tanpa Pemanasan (25-29^{o}C) Secara *Real Time*

Terlihat dari Gambar 4.1 kondisi *mesophilic* dan Gambar 4.2 tanpa pemanasan menunjukkan bahwa tekanan gas sudah mulai terbentuk pada jam kedua dan terus mengalami peningkatan tekanan gas sampai relatif stabil sampai akhirnya tidak bertambah lagi tekanannya. Menurut Gerardi (2003), proses hidrolisis dan degradasi pada digester oleh bakteri anaerob terjadi 15 – 30 menit pertama. Dengan perbandingan kotoran kuda dengan air yang sama antara pemanasan (*Mesophilic* 35^{o}C) dengan tanpa pemanasan, dapat dilihat bahwa terdapat kecenderungan kenaikan tekanan yang sama. Sehingga tekanannya naik sampai tekanan optimal kemudian stabil. Tekanan gas stabil karena gas yang

dihasilkan tidak lagi mampu mendorong gas yang telah mengisi volume penampung gas yang telah terisi penuh. Tekanan gas stabil juga disebabkan bakteri metanogen mati karena sudah tidak tersedianya makanan bagi bakteri sebagai kebutuhan organisme hidup.

Pada Gambar 4.1 kondisi *mesophilic* (35^{o}C), dapat diketahui bahwa perbandingan 1:1 menghasilkan tekanan gas maksimum yang tunjukkan pada alat ukur sebesar 3.196 kPa, perbandingan 1:2 menghasilkan tekanan gas maksimum 4.188 kPa, dan perbandingan 1:3 menghasilkan tekanan gas maksimum sebesar 1.291 kPa. Untuk perbandingan 1:2 menghasilkan tekanan gas maksimum paling tinggi daripada perbandingan lainnya. Pada Gambar 4.2 tanpa pemanasan (temperatur ruang 25-29 ^{o}C), diketahui bahwa perbandingan 1:1 menghasilkan tekanan gas maksimum yang ditunjukkan pada alat ukur sebesar 3.173 kPa, perbandingan 1:2 menghasilkan tekanan gas maksimum 3.977 kPa, dan Perbandingan 1:3 menghasilkan tekanan gas maksimum sebesar 1.119 kPa. Untuk perbandingan 1:2 pada kondisi tanpa pemanasan menghasilkan tekanan gas paling tinggi daripada perbandingan lainnya.

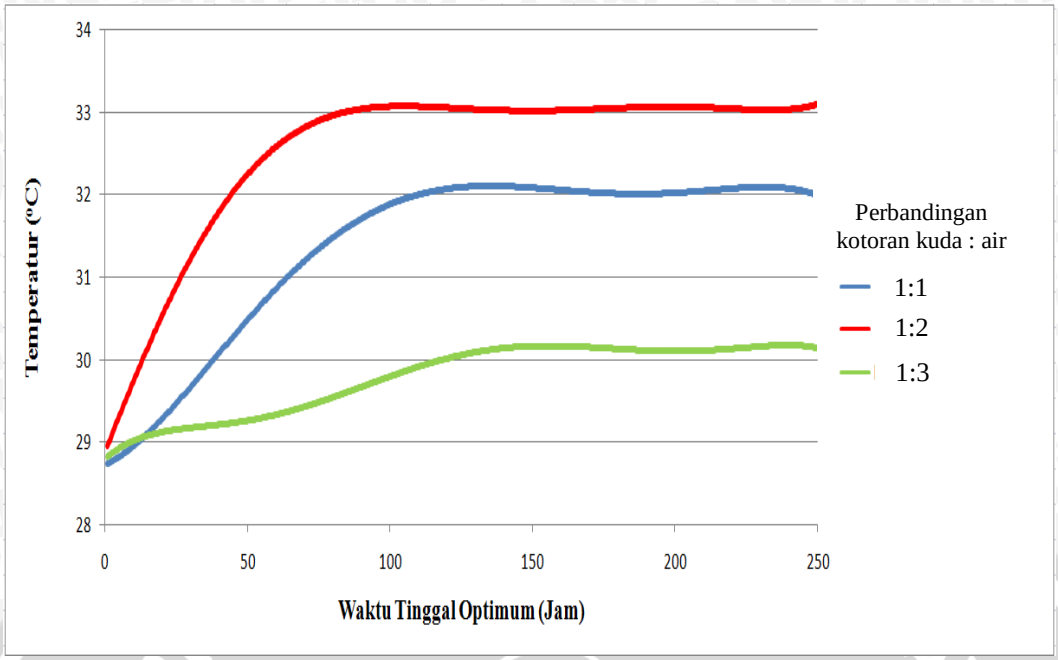
Dengan massa kotoran yang sama atau tetap sebesar 3,75 kg (kotoran kuda basah dengan kadar air rata-rata = 70,02%) dan jumlah kadar air yang berbeda akan menghasilkan tekanan gas yang berbeda pula. Pebandingan kotoran kuda dengan air 1:2 pada kondisi *mesophilic* (35^{o}C) dan tanpa pemanasan sama-sama menghasilkan tekanan paling tinggi daripada variasi perbandingan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pada perbandingan 1:2 bakteri anaerob lebih mudah berkembang biak dan beraktivitas akibatnya proses fermentasi berlangsung dengan maksimum sehingga produksi (massa) dan komposisi biogas yang dihasilkan optimal. Perbandingan 1:1 baik pada kondisi *mesophilic* (35^{o}C) maupun tanpa pemanasan, tekanan gas yang dihasilkan berada di atas tekanan maksimum perbandingan 1:3 akan tetapi berada di bawah tekanan maksimum 1:2. Perbandingan 1:1 dianggap sebagai campuran subtrat yang pekat. Partikel-pertikel pada substrat tersebut menghambat aliran gas keluar sehingga produksi biogas lebih sedikit apabila dibandingkan dengan perbandingan 1:2. Sedangkan pada perbandingan 1:3 menghasilkan tekanan gas paling rendah daripada 1:2 dan 1:1, semakin banyak air akan memperlancar proses fermentasi. Namun apabila jumlah

air berlebihan, pertumbuhan dan aktivitas bakteri berjalan lamban sehingga produksi dan komposisi biogas yang dihasilkan tidak optimal.

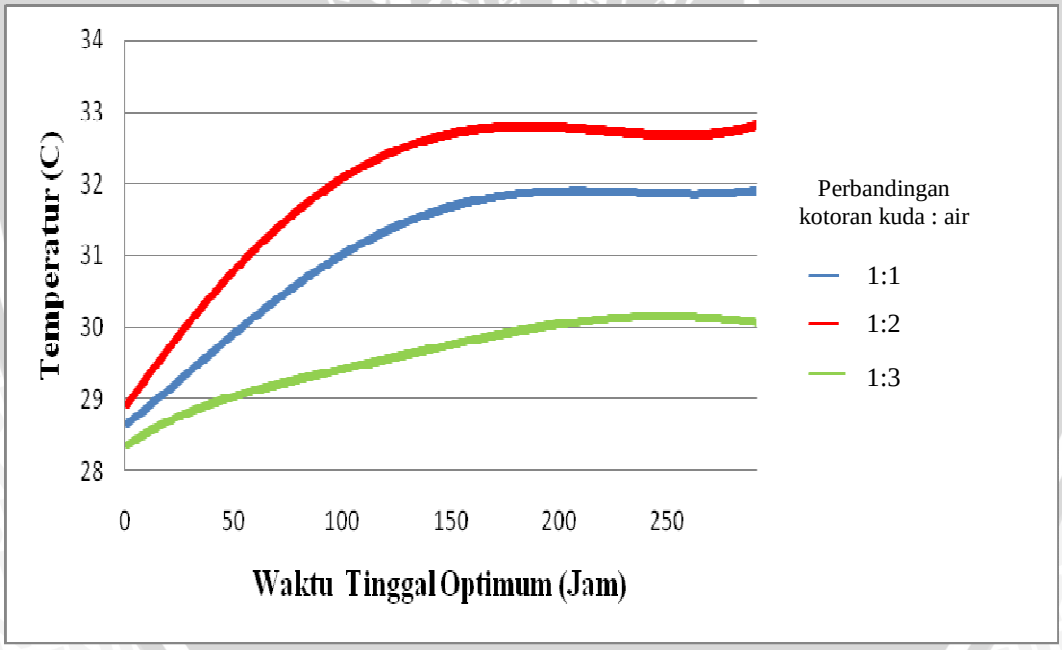
Perbedaan grafik antara kondisi *mesophilic* (35^{o}C) dengan tanpa pemanasan (termperatur ruang 25-29^{o}C) adalah waktu tinggal optimum. Dengan pemanasan (*mesophilic* 35^{o}C), waktu untuk mencapai fermentasi optimum lebih singkat. Untuk perbandingan 1:2, waktu tinggal optimum lebih singkat daripada perbandingan lainnya yaitu pada jam ke-78 kemudian stabil. Untuk perbandingan 1:1 waktu tinggal optimum pada jam ke-104 kemudian stabil. Untuk perbandingan 1:3 waktu tinggal optimum pada jam ke-130 kemudian stabil. Pada kondisi tanpa pemanasan (temperatur ruang) sama dengan kondisi *mesophilic*, perbandingan 1:2 waktu tinggal optimum lebih singkat daripada variasi perbandingan lainnya yaitu pada jam ke-102 kemudian stabil, disusul perbandingan 1:1 waktu tinggal optimum pada jam ke-162. Untuk perbandingan 1:3, waktu tinggal optimum pada jam ke-196.

4.2.2 Grafik Hubungan Antara Waktu Tinggal Optimum Dengan Temperatur Gas

Adapun grafik dari hubungan antara waktu tinggal optimum dengan temperatur biogas pada kondisi *mesophilic digester* (35^{o}C) dengan variasi perbandingan kotoran kuda dengan air dapat dilihat pada Gambar 4.3. Grafik tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik hubungan antara waktu tinggal optimum dengan temperatur biogas pada kondisi tanpa pemanasan (temperatur ruangan) yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Hubungan Antara Waktu Tinggal Optimum
Dengan Temperatur Gas Pada Kondisi *Mesophilic* (35^{o}C) Secara *Real Time*



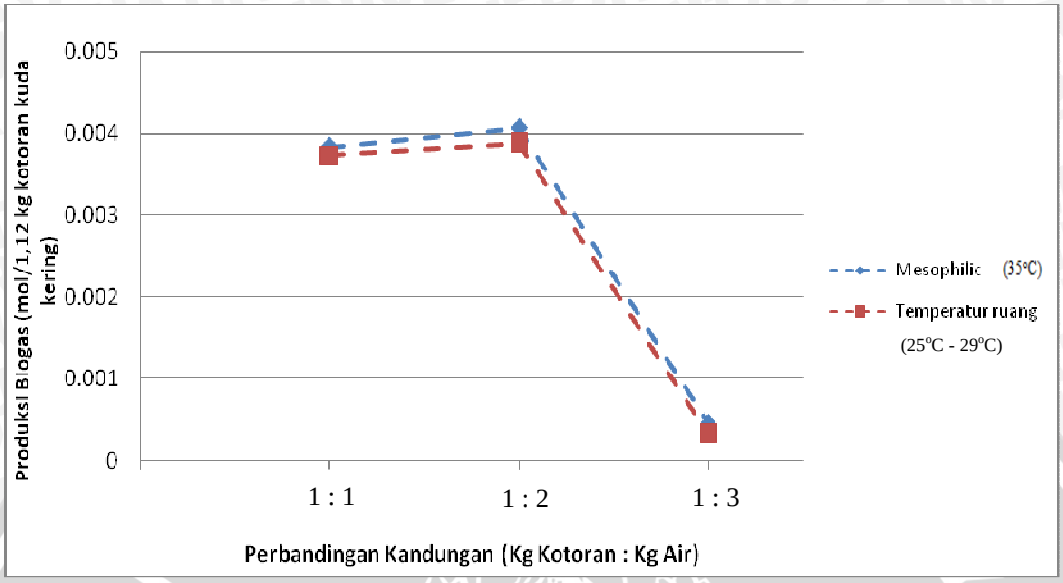
Gambar 4.4 Hubungan Antara Waktu Tinggal Optimum
Dengan Temperatur Gas Pada Kondisi Tanpa Pemanasan (25-29^{o}C) Secara *Real Time*

Perbedaan grafik hubungan antara waktu tinggal optimum dengan temperatur pada kondisi *mesophilic* (35^{o}C) dengan tanpa pemanasan dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4. kecenderungan grafik hubungan antara waktu tinggal optimum dengan temperatur dengan grafik hubungan antara waktu tinggal optimum dengan tekanan sama. Hal ini dapat dijelaskan karena dengan semakin meningkatnya tekanan gas akan menyebabkan temperatur juga meningkat.

Sebagai contoh, perbandingan 1:2 pada kondisi *mesophilic* menghasilkan tekanan gas awal 0.275 kPa dengan nilai temperatur gas 28.54^{o}C. Tekanan gas maksimum yang dihasilkan pada perbandingan 1:2 sebesar 4.188 kPa dengan temperatur gas maksimum 33.07^{o}C. Pada kondisi tanpa pemanasan, perbandingan 1:2 memiliki tekanan gas awal 0.294 kPa dengan temperatur gas awal 28.94^{o}C dan tekanan gas maksimumya sebesar 3.977 kPa dengan nilai temperatur maksimum 32.77^{o}C. Hal tersebut membuktikan bahwa terjadi peningkatan tekanan gas yang diikuti peningkatan temperatur gas di awal penelitian sampai menghasilkan tekanan gas maksimum dan temperatur gas maksimum di akhir proses. Dengan semakin meningkatnya tekanan gas akan diikuti dengan meningkatnya temperatur gas.

Temperatur gas pada kondisi *mesophilic* maupun temperatur ruang mengalami fluktuasi, cenderung naik, dan relatif konstan pada akhir proses. Kenaikan temperatur disebabkan karena proses dekomposisi bahan organik bersifat eksoterm. Sehingga apabila temperatur meningkat, maka telah terjadi proses dekomposisi bahan organik. Penguraian bahan tersebut akan menghasilkan gas metana, gas karbondioksida, dan kalor. Dalam proses dekomposisi bahan organik pada kondisi *anaerobic*, sistem menghasilkan energi yang berupa panas sehingga temperatur dalam reaktor meningkat. Pada akhir proses, temperatur relatif konstan karena tidak ada lagi aktivitas bakteri dalam mendekomposisi bahan organik.

4.2.3 Grafik Hubungan Antara Perbandingan Kotoran Kuda Dengan Air Terhadap Produksi Biogas



Gambar 4.5 Hubungan Antara Perbandingan Kotoran Kuda Dengan Air Terhadap Produksi Biogas.

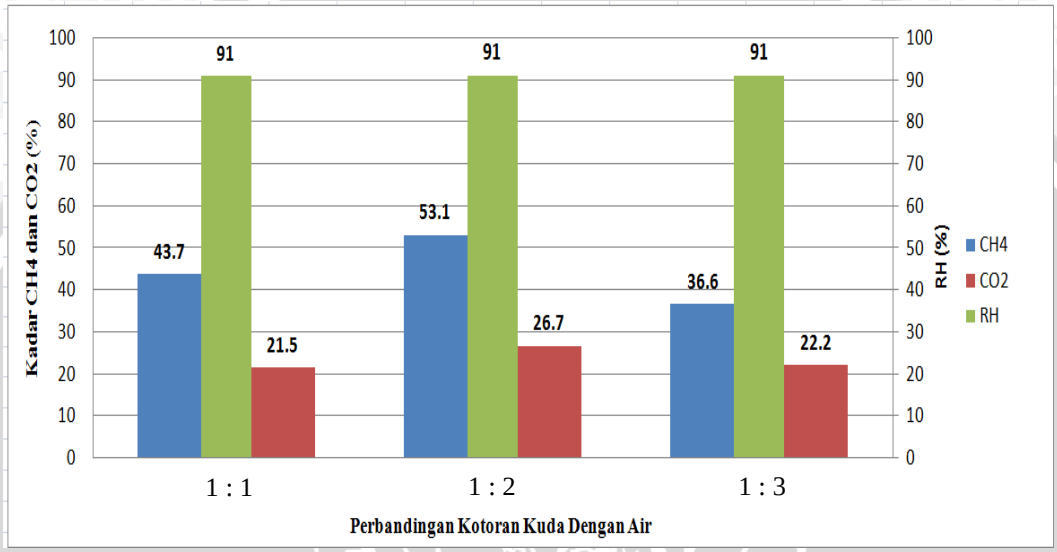
Perbandingan grafik antara perbandingan kotoran kuda dengan air terhadap produksi biogas pada kondisi *mesophilic* dan tanpa pemanasan dapat dilihat pada Gambar 4.5 di atas. Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa urutan pertama produksi gas optimal yang dihasilkan pada kondisi *mesophilic* sama dengan kondisi tanpa pemanasan yaitu perbandingan 1:2, disusul urutan kedua perbandingan 1:1, dan urutan ketiga perbandingan 1:3 menghasilkan produksi gas paling sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan 1:2 merupakan kandungan atau campuran yang sesuai antara kotoran kuda dengan air. Pada perbandingan 1:2, proses degradasi bahan organik pada tahap hidrolisis berlangsung dengan baik. Hal tersebut nantinya akan berpengaruh dalam pembentukan asam asetat yang akan diurai menjadi gas metan. Pada perbandingan kotoran kuda dengan air 1:1 merupakan substrat yang kental dan pekat. Produksi gas yang dihasilkan terhambat oleh partikel-partikel substrat. Sedangkan kadar air pada perbandingan 1:3 terlalu besar akibatnya aktivitas bakteri menjadi terhambat. Hal ini disebabkan karena jumlah air yang terlalu besar akan meningkatkan konsentrasi O_2 yang bersifat racun bagi perbandingan 1:3 sehingga akan mengakibatkan akumulasi asam asetat yang bersifat menghambat.

Perbedaan produksi biogas yang dihasilkan pada kondisi *mesophilic* dan tanpa pemanasan (temperatur ruang) terlihat pada Gambar 4.5. Pada kondisi *mesophilic* (35^{o}C), perbandingan 1:2 menghasilkan produksi biogas sebesar $4{,}068.10^{-3}$ mol, perbandingan 1:1 menghasilkan produksi biogas sebesar $3{,}837.10^{-3}$ mol, dan perbandingan 1:3 menghasilkan produksi biogas $4{,}57.10^{-4}$ mol. Sedangkan pada kondisi tanpa pemanasan, perbandingan 1:2 menghasilkan produksi biogas sebesar $3{,}879.10^{-3}$ mol, perbandingan 1:1 menghasilkan produksi biogas sebesar $3{,}733.10^{-3}$ mol, dan perbandingan 1:3 menghasilkan produksi biogas sebesar $3{,}23.10^{-4}$ mol. Dari penelitian yang telah dilakukan kemudian didapatkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadi perbedaan produksi gas yang dihasilkan pada kondisi *mesophilic* maupun kondisi tanpa pemanasan.

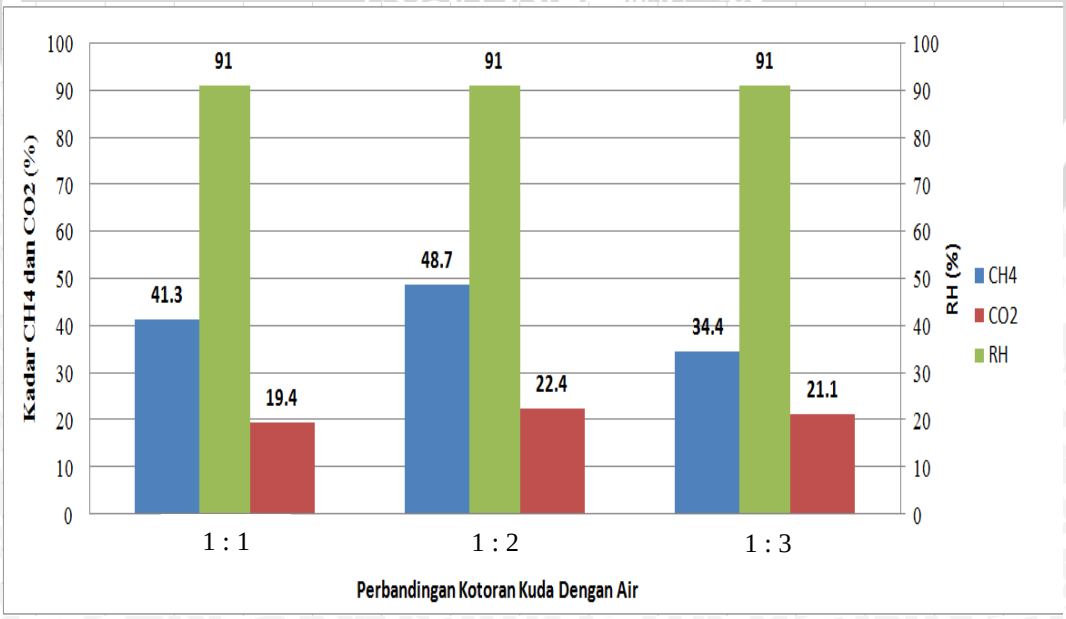
Perbedaan produksi biogas yang dihasilkan disebabkan oleh faktor temperatur. Temperatur di dalam *digester* mempunyai andil yang besar dalam pembentukan biogas. Pada kondisi *mesophilic*, kemampuan bakteri untuk mencerna bahan akan bekerja optimal dengan lama proses yang optimal. Aktivitas dan populasi bakteri berkembang secara cepat. Sehingga populasi bakteri yang semakin banyak menghasilkan biogas juga semakin banyak. Berbeda dengan kondisi *mesophilic*, pada kondisi tanpa pemanasan kemampuan bakteri untuk mencerna bahan, beraktivitas, dan berkembang biak berjalan secara lamban sehingga produksi biogas kurang optimal dengan lama proses yang lebih lama dibandingkan dengan *mesophilic*. Temperatur optimum untuk terjadinya proses dekomposisi anaerobik adalah 35^{o}C. Apabila temperatur terlalu rendah, aktivitas bakteri akan menurun dan menyebabkan produksi biogas yang dihasilkan akan menurun. Sebaliknya apabila temperatur terlalu tinggi, bakteri mudah mati dan mengakibatkan produksi biogas yang dihasilkan akan menurun.

4.2.4 Grafik Hubungan Antara Perbandingan Kotoran Kuda Dengan Air Terhadap Komposisi Biogas

Grafik dari hubungan antara perbandingan kotoran kuda dengan air terhadap komposisi biogas pada kondisi *mesophilic digester* (35^{o}C) dapat dilihat pada Gambar 4.6. Grafik tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik hubungan antara perbandingan kotoran kuda dengan air terhadap komposisi biogas pada kondisi tanpa pemanasan (temperatur ruangan) dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.6 Hubungan Antara Perbandingan Kotoran Kuda Dengan Air Terhadap Komposisi Biogas Pada Kondisi *Mesophilic* (35^{o}C)



Gambar 4.7 Hubungan Antara Perbandingan Kotoran Kuda Dengan Air Terhadap Komposisi Biogas Pada Kondisi Tanpa Pemanasan (25-29^{o}C)

Komposisi biogas untuk perbandingan kotoran kuda dengan air 1:1, 1:2, dan 1:3 yang dominan adalah gas metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2). Pada tahap asidifikasi, gas karbondioksida terbentuk terlebih dahulu sehingga nilai komposisi CO_2 lebih besar daripada gas-gas lain. Pada tahap pembentukan metana, asam asetat menjadi CH_4 + CO_2. Kemudian bakteri metanogen mensintesa hidrogen dan CO_2 menjadi CH_4 + $2H_2O$. Sehingga nilai komposisi CH_4 lebih tinggi daripada gas-gas lainnya. Pada proses akhir selain menghasilkan CH_4, bakteri metanogen juga menghasilkan H_2O yang menyebabkan lingkungan menjadi lembab sehingga *Relative Humidity* (RH) pada akhir proses mencapai 91%. Dalam hal ini, tentu saja yang dimanfaatkan adalah gas metan (CH_4), karena CH_4 memiliki nilai kalor yang dapat digunakan sebagai bahan bakar.

Komposisi pada kondisi *mesophilic* ditunjukkan pada Gambar 4.6. Pada Gambar 4.6, perbandingan 1:2 menghasilkan gas metan (CH_4) dan karbondioksida (CO_2) tertinggi daripada perbandingan lainnya yaitu gas metan 53.1% dan karbondioksida 26.7%, komposisi biogas untuk perbandingan 1:1 yaitu gas metan 43.7%, kabondioksida 21.5%. Komposisi biogas terkecil dihasilkan oleh perbandingan 1:3 yaitu gas metan 36.6% dan karbondioksida 22.2%.

Untuk kondisi tanpa pemanasan pada Gambar 4.7, komposisi biogas tertinggi juga dihasilkan oleh perbandingan 1:2 yaitu gas metan 48.7% dan karbondioksida 22.4%, komposisi perbandingan 1:1 yaitu gas metan 41.3% dan karbondioksida 19.4%. Komposisi biogas terkecil dihasilkan oleh perbandingan 1:3 yaitu gas metan 34.4% dan karbondioksida 21.1%. Dari data pengujian komposisi tersebut, terlihat bahwa komposisi biogas yang dihasilkan pada kondisi *mesophilic* lebih besar dari komposisi yang dihasilkan pada kondisi tanpa pemanasan. Produksi gas yang berbeda tentunya akan menghasilkan komposisi yang berbeda-beda pula. Bakteri penghasil metana (metanogenik) lebih mudah berkembangbiak, beradaptasi, dan beraktivitas pada temperatur *mesophilic* (35^oC), akibatnya produksi/komposisi gas metan pada kondisi *mesophilic* lebih tinggi daripada kondisi tanpa pemanasan.