

# EFEKTIVITAS BIODEGRADASI SAMPAH SAYURAN DENGAN PENAMBAHAN BIOAKTIVATOR KOTORAN SAPI

Muhammad Triansyah<sup>1</sup>, Kasam<sup>2</sup>, Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

[13513179@students.uii.ac.id](mailto:13513179@students.uii.ac.id)<sup>1</sup>, [kasam@uui.ac.id](mailto:kasam@uui.ac.id)<sup>2</sup>

## ABSTRAK

*Sayur merupakan salah satu sumber nutrisi yang di konsumsi setiap hari oleh manusia, namun bagian-bagian tertentu dari sayur yang berada di pasar, seringkali berakhir menjadi sampah. Hingga saat ini, sampah sayur belum mendapatkan penanganan yang khusus. Alternatif penanganan sampah sayur yang bisa dilakukan adalah biodegradasi anaerobik. Pada bidegradasi anaerobik umumnya ditambahkan bioaktivator berupa kotoran sapi untuk mempercepat proses biodegradasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan kotoran sapi terhadap laju biodegradasi sampah sayur. Reaktor anaerobik dibuat dari drum bermaterial HDPE berukuran 25 liter. Pada reaktor 1, 2 kg sampah sayur dicampur dengan 2 liter air. Pada reaktor 2, 2 kg sampah sayur dicampur dengan 2 kg kotoran sapi dan 2 liter air. Hasil pengujian COD menunjukkan terjadi penurunan kadar COD sebesar 18,7% dan 25,8% masing-masing pada reaktor 1 dan 2. Kadar TOC pada reaktor 1 dan 2 adalah 69,5 mg/L dan 65,1 mg/L pada akhir percobaan. Kadar Total Solid memiliki rentang 13%-4% (Reaktor 1) dan 18%-9% (Reaktor 2), sedangkan Kadar Volatile Solid memiliki rentang 71%-51% (Reaktor 1) dan 71%-53% (Reaktor 2). Jumlah biogas yang dihasilkan dari Reaktor 1 dan 2 masing-masing adalah 0,25 liter dan 1,58 liter. Hasil penelitian ini menunjukkan biodegradasi pada reaktor 2 terjadi lebih cepat dengan adanya penambahan kotoran sapi.*

*Kata Kunci: Biodegradasi anaerobik, Sampah sayur, COD, TOC, TS, VS, Bioaktivator Kotoran Sapi*

## ABSTRACT

*Vegetable are one of nutrition sources for human being but some of their parts in market, often end up wasted. Nowadays, vegetable waste still are not treated well. Alternative vegetable waste managment that can be done is anaerobic biodegradation. In anaerobic biodegradatio., it is commonly to add bioactivator, such as cow dung to advance biodegradation process. This research aims to analyse the influence of cow dung addition towards vegetable waste biodegradation. The anaerobic digester made from HDPE material volumed 25 liters. In digester 1, 2 kg of vegetable wastes mixed with 2 liters of water. In the digester 2, 2 kg of biodegradation wastes mixed with 2 kg of cow dungs and 2 liters of water. From COD content measurements show the decline of COD content as 18,7% and 25,8% in digester 1 and 2, respectively. TOC content in digester 1 and 2 are 69,5 mg/L and 65,1 mg/L in the end of this research. TS content has range as 13%-4% (digester 1) and 18%-9% (digester 2), meanwhile VS content has 71%-51% (digester 1) and 71%-53% (digester 2). Biogas that are produced from digester 1 and 2 are 0,25 liter and 1,58 liter, respectively. The results indicate that biodegradation process in digester 2 took place faster with cow dung addition.*

*Keywords: Anaerobic biodegradation, vegetable waste, COD, TOC, TS, VS, Cow dung*

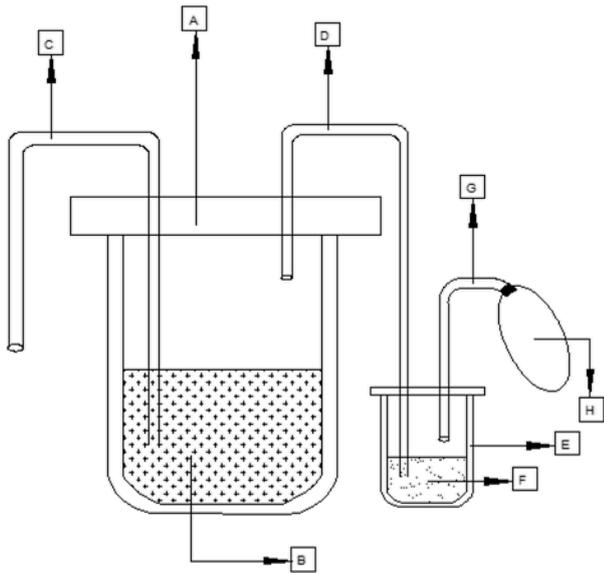
## 1. PENDAHULUAN

Sayur-sayuran merupakan makanan yang termasuk dalam makanan yang di konsumsi setiap hari oleh manusia. Sayur-sayuran mengandung banyak nutrisi yang dapat menunjang kesehatan manusia. Banyak makanan olahan yang dibuat dari bahan sayur-sayuran, bisa sebagai bahan campuran dan juga bahan utama. Di negara berkembang khususnya Indonesia, sampah sayuran ditangani dengan cara dibuang langsung ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Namun ada juga sebagian kecil dari masyarakat Indonesia membuat komposting dan pembakaran secara terbuka. Penanganan kedua cara ini akan menimbulkan masalah lain, diantaranya yaitu pencemaran udara. Alternatif penanganan sampah sayuran yang bisa digunakan yaitu biodegradasi anaerobik.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif pengolahan sampah organik khususnya sampah sayuran, serta dapat memberikan informasi mengenai keuntungan dari proses biodegradasi anaerob pada sampah sayuran menggunakan bioaktivator kotoran sapi. Diharapkan juga kedepannya masyarakat menjadi lebih berperan aktif dalam pengolahan sampah organik khususnya sampah sayuran, agar dapat mengurangi beban sampah di TPA, dan juga dapat menghasilkan energi terbarukan.

## METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi pengambilan sampah sayuran di Pelaksanaan penelitian dilakukan di Pasar Pakem Jalan Kaliurang KM 17, Pakembinangun, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi pengambilan bioaktivator kotoran sapi di pemilik sapi di Jalan Bimo, Dusun Nganggruk, Desa Sardonoharjo. Lokasi penelitian di Laboratorium Rancang Bangun, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Sampah buah diambil secara *grab sampling* (sampling sesaat), yaitu metode pengambilan sampel yang dilakukan hanya pada satu waktu. Sampah sayuran yang diambil di Pasar Pakem Jalan Kaliurang KM 17, Pakembinangun, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta sebanyak 4 kg. Sampah sayur yang telah dicacah kemudian ditimbang dan dicampur dengan bioaktivator kotoran sapi sesuai kebutuhan perlakuan. Selanjutnya, campuran lalu dimasukkan ke dalam reaktor dan dibiarkan terdegradasi selama 20 hari. Pengukuran kadar COD, TOC, TS, VS, kadar air, suhu, dan pH dilakukan setiap 5 hari sekali. Perbandingan antara sampah buah dan air pada reaktor 1 adalah 1:1 (Mustami, 2015), sedangkan pada reaktor 2 perbandingan antara sampah sayur : air : kotoran sapi adalah 1 : 1 : 1. Adapun desain reaktor adalah sebagai berikut:



Keterangan:

A: Reaktor anaerobik

E: Gelas kaca

B: *Slurry*

F: Air

C: Selang sampel

G: Selang biogas

D: Selang gas

H: Plastik penampung biogas

Gambar 1.1 Desain Reaktor Anaerobik

Pengujian COD pada sampel mengacu pada SNI 6989.2:2009 dengan menggunakan metode refluks tertutup secara spektrofotometri. Pengujian TOC mengacu pada *Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods* dengan menggunakan metode spektrofotometri. Pengujian Kadar Air, Kadar Padatan Total dan Kadar *Volatile Solid* mengacu pada SNI 06-6989.26-2005 dengan menggunakan metode gravimetri. Pengujian pH menggunakan pH meter, sedangkan pengujian suhu menggunakan Termometer.

## 2. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 2.1 Karakteristik Sampah Buah

Sampah sayur yang diambil dari sumber terdiri dari daun bawang dan sawi, kedua jenis sayur ini memiliki yang karakteristik fisik yang berbeda. Sawi memiliki bentuk yang lebih lebar dibandingkan dengan daun bawang, dan juga tekstur sawi lebih tipis dibandingkan dengan daun bawang. Berat masing masing sampah yaitu 2 kg daun bawang dan 2 kg sawi. Hasil analisis kadar padatan total dan kadar VS dari sampah sayur yang telah dipotong kecil-kecil yaitu sebesar 39% dan 95,7% (Tabel 4.1).

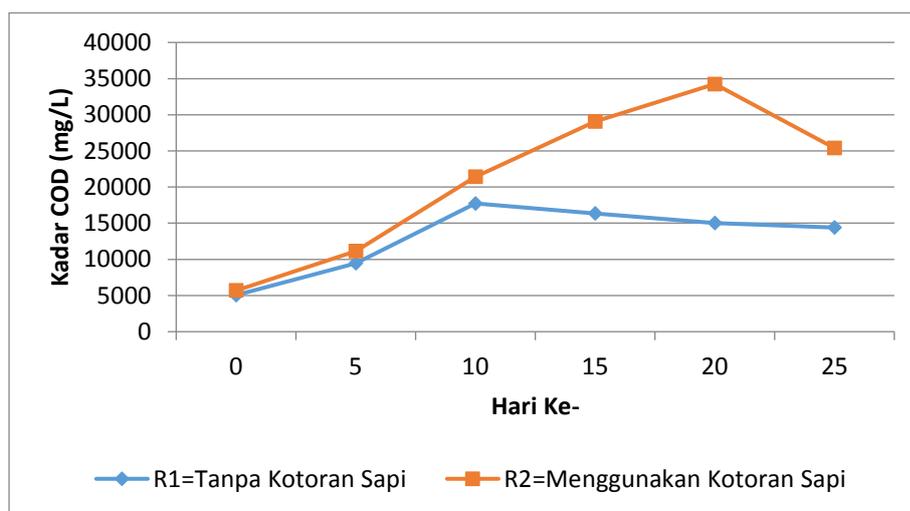
**Tabel Bab 4.1** Karakteristik Campuran Sampah Sayur

No	Parameter	Konsentrasi
1	pH	7
2	Suhu	28° C
3	Kadar Air	61%
4	Kadar Padatan Total (TS)	39%
5	Kadar <i>Volatile Solid</i> (VS)	95,7%

Kadar *volatile solid* pada sampah sayuran umumnya sekitar 97% , dan kadar padatan total sampah sayuran umumnya berkisar 3-11%. Selain itu umumnya sampah sayur juga memiliki kadar air sebesar 90%, pH 7 serta suhu 27°C (Anggraini, dkk., 2012). Karakteristik sampah akan mempengaruhi kinerja mikroba dalam mendegradasi bahan organik. Sebagai contoh kadar air akan berpengaruh pada laju dekomposisi bahan organik dan juga parameter suhu (Kusuma, 2012).

## 2.2 Analisis Kadar COD

Salah satu parameter yang mempengaruhi terjadinya biodegradasi adalah COD. Kadar COD merupakan parameter yang menunjukkan jumlah oksigen total yang dibutuhkan untuk mengoksidasi materi organik (Mustami, dkk., 2015).



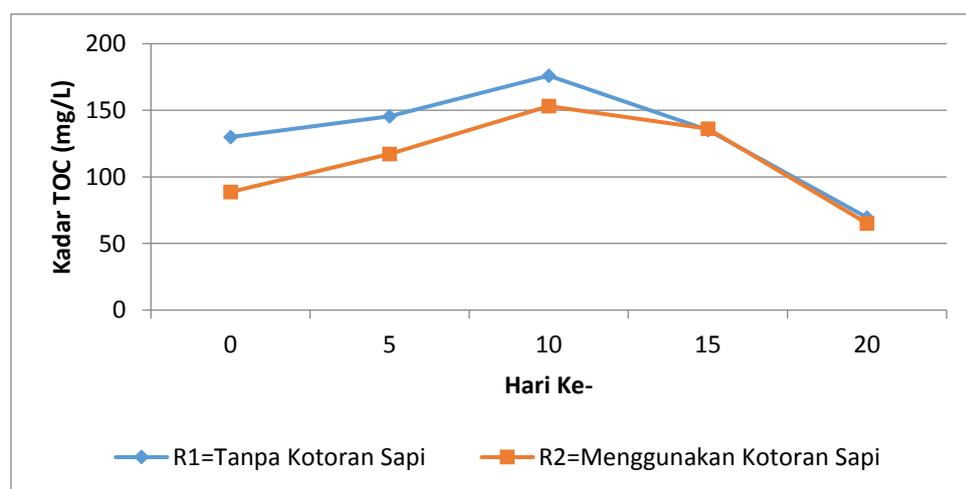
**Gambar 4.1** Perbandingan Kadar COD pada Reaktor 1 dan 2

Berdasarkan gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai COD dari kedua reaktor mengalami kenaikan mulai dari hari ke 5. Namun terjadi perbedaan penurunan kadar COD pada kedua reaktor, pada reaktor 1 penurunan dimulai pada hari ke 10, sedangkan pada reaktor 2 terjadi penurunan pada hari ke 20 (Gambar 4.2). Kadar COD tertinggi pada reaktor 1 yaitu sebesar 17.736 mg/l, dan reaktor 2 sebesar 34.250 mg/l.

Kenaikkan kadar COD yang terjadi pada awal percobaan disebabkan karena belum terjadinya proses metanogenesis, yaitu perombakan bahan organik menjadi metan sehingga kadar COD terus meningkat . Penunanan kadar COD menunjukkan mulainya proses asetogenesis dan metanogenesis. Pada proses asetogenesis, hasil dari proses asidogenesis diubah menjadi asam asetat, karbon dioksida, dan hidrogen. Sunarto, et.al., 2013 menyebutkan bahwa sekitar 70% dari kadar COD semula diubah menjadi asam asetat. Oleh karena itu, kadar COD menurun. Pada proses metanogenesis, asam asetat dari sisa proses asetogenesis dirombak menjadi biogas yang juga menyebabkan kadar COD yang menurun.

### 2.3 Analisis Kadar TOC

Pada analisis TOC, kadar TOC mengalami peningkatan pada kedua reaktor dari hari pertama hingga hari ke 10, dan mengalami penurunan kadar TOC yang bersamaan pada hari ke 10 hingga ke 20 (Gambar 4.3). Kadar nilai TOC tertinggi pada reaktor 1 terjadi pada hari ke 10 sebesar 176,003 mg/l, pada reaktor 2 juga memiliki kadar TOC tertinggi pada hari ke 10 sebesar 153,1 mg/l. Selisih kadar TOC awal dan akhir pada reaktor 1 dan 2 adalah 60,43 mg/l dan 23,60 mg/l.



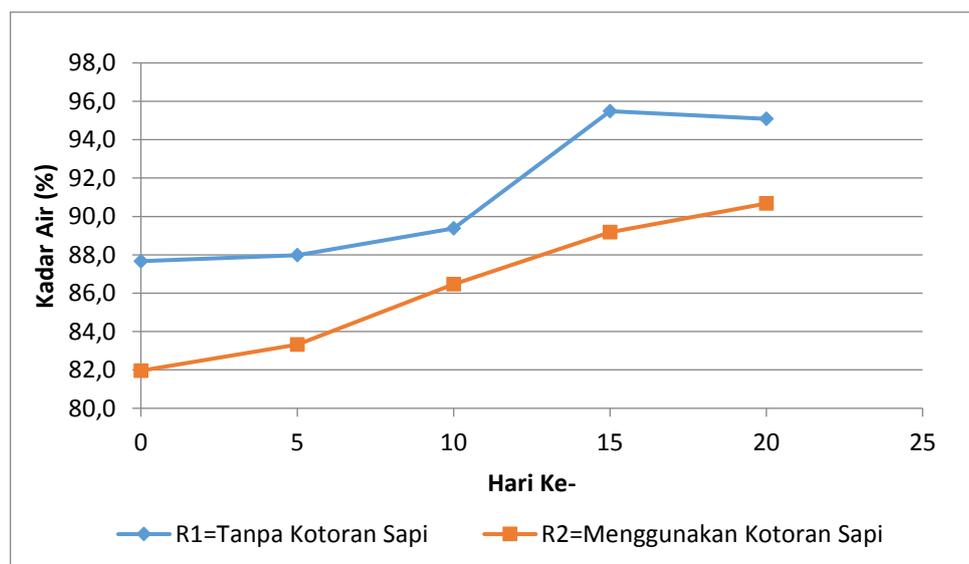
**Gambar 4.2** Perbandingan Kadar TOC pada Reaktor 1 dan 2

TOC merupakan jumlah karbon yang terikat dalam senyawa organik yang terkandung didalam sampah tersebut. Meningkatnya kadar TOC menunjukkan proses yang berlangsung adalah hidrolisis dan asidogenesis. Pada proses hidrolisis, senyawa organik yang kompleks polimer dirombak menjadi senyawa organik monomer seperti gula mudah larut, asam amino, dan asam lemak rantai panjang, sedangkan pada proses asidogenesis senyawa organik monomer dirombak menjadi hidrogen, asam lemak rantai pendek dan alkohol. Artinya, pada proses hidrolisis dan asidogenesis, senyawa organik masih dirombak menjadi senyawa organik yang lain sehingga jumlah senyawa organik meningkat yang ditunjukkan melalui kadar TOC.

Pada saat kadar TOC menurun menunjukkan proses yang terjadi adalah asetogenesis dan metanogenesis. Proses asetogenesis menghasilkan asam asetat, hidrogen dan karbon dioksida sehingga jumlah senyawa organik menurun. Fersiz & Veli, 2015 menjelaskan bahwa penurunan kadar TOC merupakan petunjuk adanya proses biodegradasi oleh mikroorganisme yang menghasilkan karbondioksida dan air.

#### 4.4 Analisis Kadar Air

Kadar air kedua sampel pada reaktor 1 dan 2 mengalami kenaikan persen kadar air (Gambar 4.4). Pada reaktor 1 yang berisikan sampel yang tidak ditambahkan kotoran sapi mengalami peningkatan kadar air sebesar 7,4%. Pada reaktor 2 yang berisikan sampel yang menggunakan kotoran sapi mengalami peningkatan kadar air sebesar 8,7% .

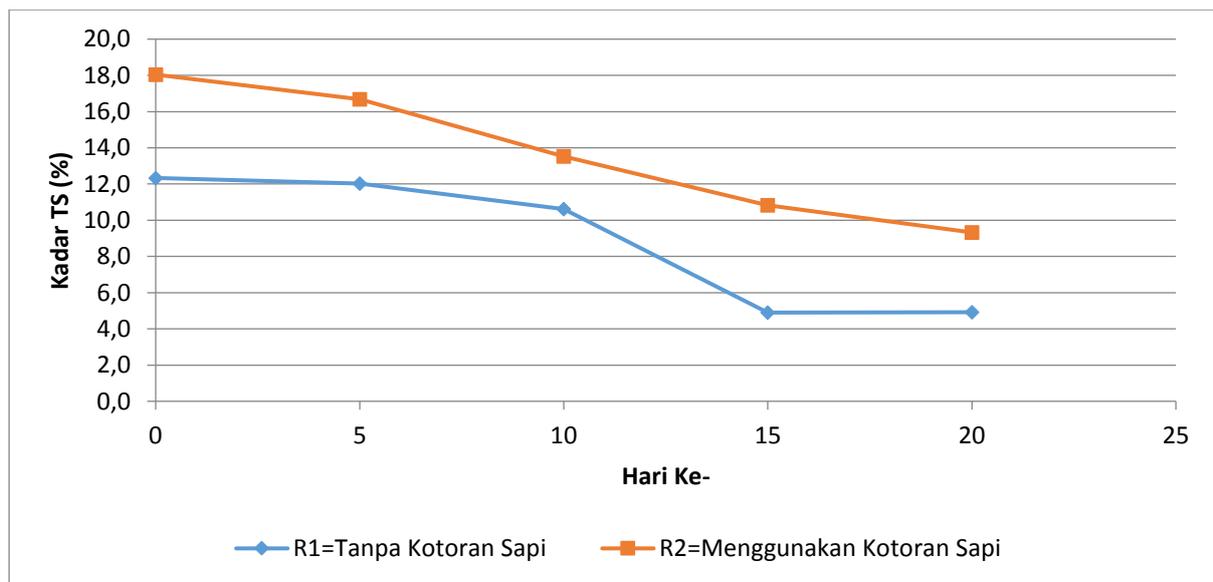


**Gambar 4.3** Perbandingan Kadar Air Pada Reaktor 1 dan 2

Peningkatan kadar air menunjukkan bahwa telah terjadi proses biodegradasi. Semakin tinggi kadar air, maka semakin tinggi juga kontak antara mikroorganisme dan molekul organik. Kadar air diatas 60% mengakibatkan aktivitas mikroba akan menurun dan akan menjadi fermentasi anaerobik yang menimbulkan bau tidak sedap (Widiarti, dkk., 2015).

## 2.5 Analisis TS

Pada analisis Total Solid (TS) secara keseluruhan mengalami penurunan pada kedua reaktor. Penurunan TS terjadi karena bahan organik mengalami proses degradasi, pada saat reaksi hidrolisis yang akan berubah menjadi senyawa yang larut dalam air. Pada saat reaksi hidrolisis masih berlangsung, zat terlarut tersebut digunakan untuk reaksi selanjutnya yaitu asidogenesis, sehingga total padatan terlarut turun kembali (Kresnawaty, dkk., 2008).



**Gambar 4.4** Perbandingan Kadar TS pada Reaktor 1 dan 2

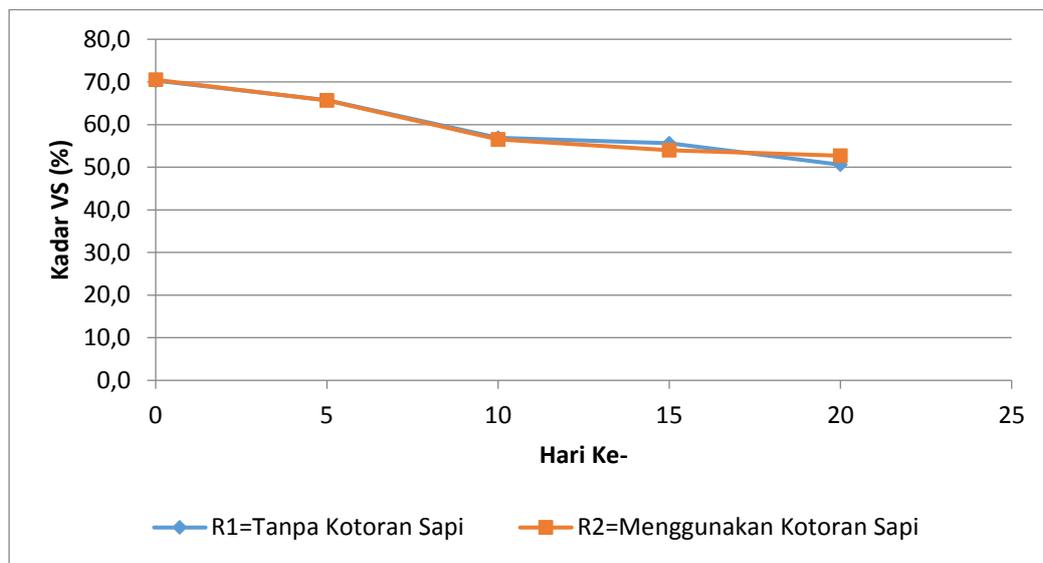
Pada reaktor 1 kadar TS pada hari ke 0 sebesar 12,3% mengalami penurunan hingga hari ke 20 menjadi 4,9%. Pada reaktor 2 kadar TS pada hari ke 0 sebesar 18% mengalami penurunan hingga hari ke 20 menjadi 9,3%.

Penurunan kadar TS menunjukkan bahwa telah terjadi proses biodegradasi anaerobik (Haryati, 2006). Banyaknya nilai TS yang terdegradasi menunjukkan besarnya padatan yang berhasil dirombak yang merupakan bahan untuk membentuk biogas, maka produksi biogas akan semakin tinggi (

Inpurwanto, 2012). Saat kadar TS cenderung tetap, hal ini disebabkan oleh adanya pembentukan sel-sel mikroorganisme (Sjafruddin, 2011).

## 2.6 Analisis VS

Kadar VS sampel pada kedua reaktor mengalami penurunan (Gambar 4.6). Pada kedua reaktor persentase penurunan cenderung sama. Pada reaktor 1 kadar VS pada hari ke 0 sebesar 70,3% dan mengalami penurunan sampai hari ke 20 menjadi 50,6%. Sedangkan pada reaktor 2 kadar VS pada hari ke 0 sebesar 70,5 dan mengalami penurunan sampai hari ke 20 menjadi 52,7.

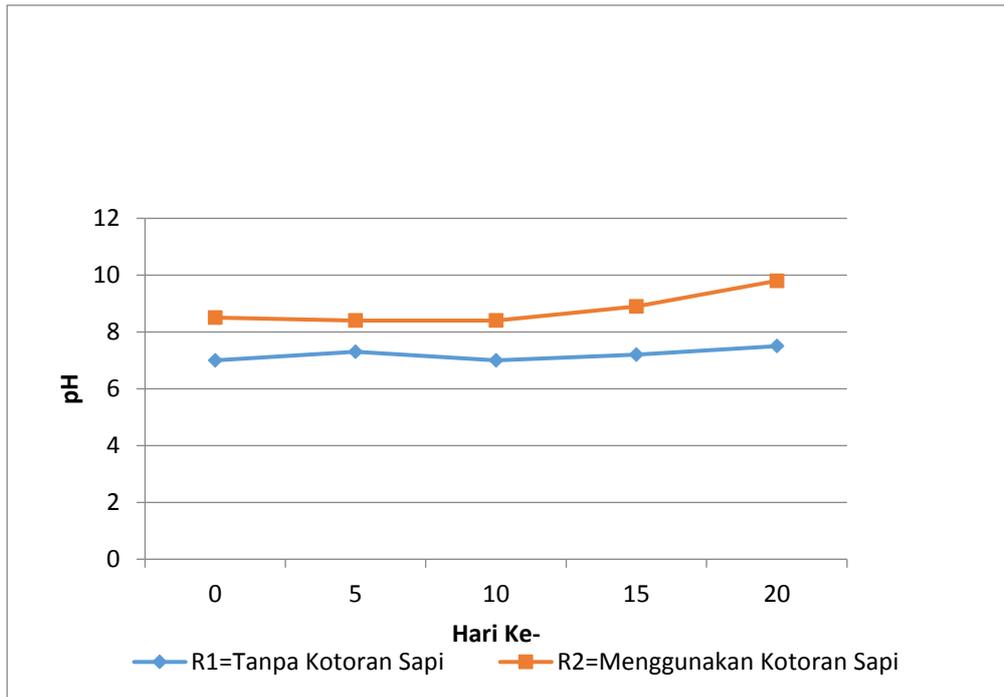


**Gambar 4.5** Perbandingan Kadar VS Pada Reaktor 1 dan 2

Persentase VS pada sampah sayur jauh lebih rendah dibandingkan dengan sampah buah pada umumnya yang memiliki persentase VS > 90%. Persentase yang lebih kecil ini menandai bahwa sampah sayur memiliki material organik yang lebih sedikit dari sampah buah (Telliard, 2001). Penurunan persentase kadar VS pada kedua reaktor menandakan bahwa telah terjadi proses biodegradasi senyawa organik (Moukazis, dkk., 2018), karena kadar VS menunjukkan jumlah substrat atau sumber makanan yang disuplai pada reaktor (Ni'mah, 2014).

## 2.7 Analisis pH

Dari analisis pH reaktor 1 dan 2, diketahui kedua reaktor memiliki pH basa yaitu diatas 7 (Gambar 4.7). Pada analisis pH juga diketahui bahwa kedua reaktor mengalami kenaikan pH. Pada reaktor 1 pH awal yaitu 7 mengalami kenaikan hingga hari ke 20 menjadi 7,5, sedangkan pada reaktor 2 pH awal yaitu 8,5 menjadi 9,8.

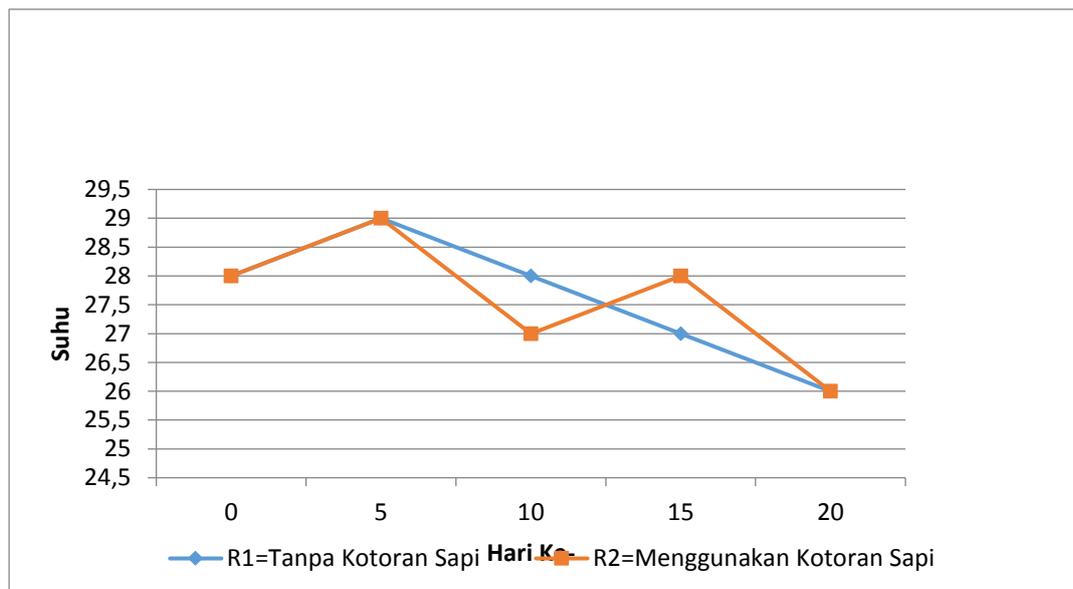


**Gambar 4.6** Perbandingan pH Pada Reaktor 1 dan 2

Peningkatan pH menunjukkan terjadinya dekomposisi dari fase asidogenesis menjadi metanogenesis (Sharifani, dkk., 2009). Peningkatan pH terjadi karena senyawa hasil fermentasi maupun asetogenesis sudah dikonversi menjadi  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , dan  $CH_4$  serta pemecahan protein menjadi  $NH_4^+$  yang kemudian mudah membentuk senyawa yang bersifat basa (Wagiman, 2007).

## 2.8 Analisis Suhu

Dari hasil analisis suhu pada kedua reaktor, diketahui suhu di kedua reaktor mengalami penurunan dari suhu awal (Gambar 4.8). Pada reaktor 1 yang memiliki suhu awal yaitu  $28^\circ C$ , terus mengalami penurunan setiap harinya, suhu terendah pada reaktor 1 terjadi pada hari ke 20 yaitu  $26^\circ C$ . Pada reaktor 2 yang memiliki suhu awal yaitu  $28^\circ C$ , mengalami penurunan sampai hari ke 20 menjadi  $26^\circ C$ . Namun pada reaktor 2 di hari ke 10 menuju hari ke 15 suhu mengalami kenaikan dari  $27^\circ C$  menjadi  $28^\circ C$ .



**Gambar 4.7** Perbandingan Suhu Pada Reaktor 1 dan 2

Kenaikkan suhu umumnya ditandai dengan peningkatan produksi biogas sesuai dengan batas-batas kemampuan bakteri mencerna sampah sayur (Wagiman, 2007). Pada umumnya digester anaerob skala kecil seperti penelitian ini bekerja pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  -  $37^{\circ}\text{C}$  (Wahyuni, 2013). Pada suhu tersebut bakteri yang bekerja umumnya adalah bakteri mesofilik. Bakteri mesofilik dapat bertahan pada perubahan temperatur lingkungan. Kestabilan proses mesofilik membuat proses ini sering digunakan dalam pengolahan anaerob (Sharifani, dkk., 2009).

## 2.9 Analisis Biogas

Analisis biogas dilakukan diakhir penelitian yaitu pada hari ke 20. Plastik yang telah berisikan biogas ditimbang dan dirubah menjadi satuan volume. Umumnya kandungan biogas dalam reaktor sampah sayuran menghasilkan gas metana sebesar 50-80% (% Volume) dan gas karbondioksida 20-50 (% Volume) (Zhang, 2005).

Pada reaktor 1 yang berisikan sampel dan air dengan persentase 1 : 1 yaitu 2 kg sampah sayuran dan 2 L air, menghasilkan biogas sebesar 0,25 L. Pada reaktor 2 yang berisikan sampel, air, dan kotoran sapi dengan persentase 1 : 1 : 1 yaitu 2 kg sampah sayuran, 2 Liter air, dan 2 kg kotoran sapi, menghasilkan biogas sebesar 1,58 L. Sampah sayuran yang ditambahkan kotoran sapi dengan perbandingan 2 : 2 yaitu kg sampah sayuran dan 1 kg kotoran sapi menghasilkan 1.72 L biogas (R Ashari dan Wesen, 2016). Pada penelitian ini hasil biogas lebih rendah daripada hasil biogas pada umumnya, hal ini dikarenakan tidak ditambahkan EM-4 dalam penelitian ini.

### **3. Kesimpulan**

Berdasarkan analisis dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa point sebagai berikut:

1. Secara keseluruhan biodegradasi anaerob dengan sampah sayur yang ditambahkan dengan kotoran sapi berlangsung lebih efektif yang ditunjukkan oleh hasil pengujian COD, TOC, VS, dan TS
2. Biogas yang dihasilkan oleh reaktor 2 yaitu dengan penambahan kotoran sapi jauh lebih banyak dari reaktor 1 yang tanpa kotoran sapi. Pada reaktor 1 menghasilkan biogas 0,25 L dan reaktor 2 menghasilkan 1,58 L. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan penambahan kotoran sapi dapat meningkatkan produksi biogas dari proses fermentasi anaerobik

### **4. Saran**

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian adalah:

1. Reaktor yang digunakan dilengkapi lubang untuk mengambil sampel, dan pastikan lubang tersebut tertutup rapat dan tidak ada udara dari luar yang masuk
2. Desain reaktor harus dilengkapi dengan pengaduk didalamnya agar dapat menghasilkan biogas yang lebih optimal

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, destilia, dkk. 2012. *Pengaruh Jenis Sampah, Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal Terhadap Komposisi Biogas Dari Sampah Organik*. Palembang: Jurnal Teknik Kimia No. 1, Vol. 18.
- Haryati, T. 2006. *Biogas: Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif*. Jurnal Wartazoa . 16 : 160-169.
- Inpurwanto. 2012. *Produksi Biogas dari Limbah Perternakan Ayam dengan Penambahan Beban Organik dan Waktu Tinggal Hidraulik pada Biodigester Anaerobik Sistem Kontinyu*. Surakarta: Prgoram Pascasarjana Universitas Sebelas Maret.
- Kresnawaty I, Susanti I, Siswanto, Panji T. 2008. *Optimasi produksi biogas dari limbah lateks cair pekat dengan penambahan logam*. J Menara Perkebunan 76 (1) : 23-35
- Kusuma, M.A. 2012. *Pengaruh Variasi Kadar Air terhadap Laju Dekomposisi Kompos Sampah Organik di Kota Depok*. Depok: Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Moukazis, I, Peller, F.-M., & Gidakos, E. 2018. *Slaughterhouse by Products Treatment Using Anaerobic Digestion*. Waste Management, 652-662.
- Mustami, Risma, dkk. 2015. *Karakteristik Substrat dalam Prose Anaerob menggunakan Biodigester*. Bandung: Jurnal Reka Lingkungan
- R Ashari, Hasan. dan Wesen Putu. 2016. *Pembuatan Biogas Dari Sampah Pasar*. Jawa Timur: Jurnal Teknik lingkungan Vol 6 No.1
- Sharifani, dkk. 2009. *Degradasi Biowaste Fasa Cair, Slurry, dan Padat dalam Reaktor Batch Anaerob Sebagai Bagian dari Mechanical Biological Treatment*. Bandung: ITB
- Sjafruddin, R. 2011. *Produksi dari Substrat Campuran Sampah Buah Menggunakan Starter Kotoran Sapi Media Perspektif*. Vol 11, 62-67.
- Telliard AW. 2001. *Method 1684: Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solids, and Biosolids*. Washington DC: EPA Office of Water, Engineering and Analysis Division.
- Triyatno, Joko. 2010. *Pengaruh perbandingan kandungan air dengan kotoran sapi terhadap produktifitas biogas pada digester bersekat*. STTI Bontang.

- Wagiman. 2007. *Identifikasi potensi produksi biogas dari limbah cair tahu dengan reaktor upflow anaerobic sludge blanket (UASB)*. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Pertanian, UGM.
- Wahyuni, Sri. 2013. *Panduan Praktis Biogas*. Jakarta: Penebar Swadaya
- Widiarti, B. N, dkk. 2015. *Pengaruh Rasio C/N Bahan Baku pada Pembuatan Kompos dari Kubis dan Kulit Pisang*. Samarinda: Teknik Lingkungan Unmul
- Zhang B, H. Z. 2005. *Anaerobic Digestion of Kitchen Wastes in A Single-Phased Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR) with Gas-Pushed Adsorb of CO<sub>2</sub>*. *Jurnal of Environmental Science*, 259-255.