



Pengaruh Kadar Air Umpan dan Rasio C/N pada Produksi Biogas dari Sampah Organik Pasar

Zuliyana, Sang Kompiang Wirawan, Wiratni Budhijanto, Rochim B Cahyono*

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281, Yogyakarta, Indonesia

*Alamat korespondensi: rochimbakti@ugm.ac.id

ABSTRACT

Nowadays, Indonesia is facing serious problem related to the rapid generation of municipal solid waste (MSW) and dependence on fossil energy. Converting organic content of MSW into biogas through biological process by mean of anaerobic digester is one of promising proposals to solve the MSW problem. In order to optimize biogas production, this research studies the effect of Total Solid (TS) content and ratio of carbon to nitrogen (C/N) within organic fraction of MSW as raw material for biogas production. The organic fraction of MSW consists of vegetables and fruits waste which originated from traditional market.

The experiments using various TS concentrations (10%, 15% and 20%) were conducted in batch reactors. The results showed that TS content of MSW raw material had significant effects on the total volume and CH₄ concentration of biogas production. High water content in MSW raw material enhanced the hydrolysis of organic fraction as well as avoided the excessive Volatile Fatty Acid (VFA) concentration which posed the risk of inhibition on the anaerobic process. Based on the results, the TS concentration of 10-15% in the organic MSW would offer an optimum yield of biogas production. In order to examine the effect of C/N ratio, the organic MSW was modified using ZA fertilizer (36, 30, 20 and 10 C/N ratios). The C/N ratios of 20-30 produced high amount biogas and CH₄ concentration compared to others. The C/N ratio should be maintained at the optimum value to prevent the accumulation of free ammonia which could cause problems in the anaerobic process.

Based on the results, the biogas production from organic MSW would yield the optimum biogas amount and CH₄ concentration when the TS concentration and C/N ratio were 10-15% and 20-30, respectively. This outcome would give recommendation on the water addition to the raw organic fraction of MSW and C/N modification when converting the organic fraction of MSW to biogas.

Keywords: biogas, C/N ratio, municipal solid waste, total solid.

ABSTRAK

Permasalahan sampah dan ketergantungan akan energi fosil mendorong pemanfaatan sampah organik menjadi biogas. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh konsentrasi Total Solid (TS) dan rasio C/N dari sampah kota sebagai bahan baku produksi biogas. Sampah kota berupa sayuran dan buah yang merupakan fraksi organik yang diperoleh dari pasar tradisional dan selanjutnya produksi biogas dilakukan dalam reaktor *batch*.

Konsentrasi TS bahan baku divariasikan menjadi tiga variasi nilai TS yaitu 20%, 15% dan 10%. Konsentrasi TS pada bahan baku digester berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah akumulatif biogas yang dihasilkan dan kadar CH_4 . Diperlukan air dengan jumlah yang optimum untuk mempercepat proses hidrolisis sekaligus mencegah konsentrasi *Volatile Fatty Acid* (VFA) terlalu tinggi yang beresiko inhibitor dalam sistem anaerob. Pada penelitian ini, untuk jenis sampah sayur/buah, nilai TS yang relatif baik adalah antara 10-15%. Modifikasi nilai rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) dilakukan pada bahan baku dengan kadar TS optimum dimana nilai rasio C/N dimodifikasi menjadi 36 (rasio C/N orisinal TS optimum), 30, 20 dan 10. C/N ratio yang lebih rendah daripada nilai orisinalnya dicapai dengan penambahan pupuk ZA. Dalam penelitian ini, rasio C/N antara 20-30 memberikan hasil yang relatif paling baik dibandingkan nilai rasio C/N yang lain. Perlu dijaga agar nilai rasio C/N tidak terlalu rendah yang menyebabkan kinerja sistem anaerob justru lebih buruk. karena akumulasi ammonia bebas yang justru merupakan inhibitor.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, produksi biogas dari sampah buah dan sayur menunjukkan hasil yang optimum saat kisaran konsentrasi TS 10-15% dan rasio C/N 20-30. Hal ini memberikan rekomendasi jumlah penambahan air dan perlu tidaknya koreksi rasio C/N pada umpan bahan baku saat operasi skala industri.

Kata kunci: biogas, rasio C/N, sampah kota, total solid.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi yang terus meningkat dan juga masih tingginya ketergantungan akan energi fosil untuk menunjang pertumbuhan ekonomi mendorong pemerintah Indonesia untuk meningkatkan bauran energi baru terbarukan (EBT) pada kisaran 15% pada 2025 (Buchori dan Anggoro, 2010) dalam pemenuhan energi nasional. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial untuk dikembangkan dan mudah secara teknologi adalah biogas dimana dapat diproduksi dari berbagai sumber organik. Pemanfaatan biogas juga cukup fleksibel karena dapat digunakan langsung misal untuk memasak ataupun dikonversi menjadi listrik melalui generator (Padmono dan Susanto, 2007; Holm-Nielsen dkk, 2009; Chen dkk, 2012)

Pada sisi yang lain, Indonesia juga menghadapi masalah yang sangat serius terkait dengan pengelolaan sampah perkotaan terkait dengan peningkatan jumlah dan keterbatasan lahan. Pertambahan jumlah penduduk dan perubahan pola konsumsi masyarakat menimbulkan bertambahnya volume, jenis, dan karakteristik sampah. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengelolaan sampah secara komprehensif dan terpadu dari hulu ke hilir agar memberikan manfaat secara ekonomi, sehat bagi masyarakat, dan aman bagi lingkungan, serta

dapat mengubah perilaku masyarakat (UU RI No.18 tahun 2008).

Pengumpulan fraksi organik ke dalam reaktor dengan komposisi umpan yang tepat sangat menentukan keberhasilan produksi biogas. Ketidakseimbangan yang disebabkan karena pembebanan organik berlebih akan memicu terjadinya akumulasi produk asam intermediet yang bersifat menghambat mikroorganisme metanogen. Kompleksitas bahan-bahan organik penyusun fraksi organik sampah kota menyebabkan sulitnya memperkirakan perubahan-perubahan yang perlu diantisipasi dalam perancangan reaktor biogas akibat kemungkinan fluktuasi komposisi bahan baku. Selain itu, fraksi organik sampah kota yang digunakan sebagai bahan baku produksi biogas terdiri dari campuran beberapa sampah buah dan sampah sayur dengan kandungan nitrogen (N) rendah, sehingga nilai rasio C/N bahan organik relatif berada di atas nilai ideal untuk menghasilkan biogas. Rasio C/N optimum dalam digester anaerob yang menyatakan hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen yang terkandung dalam bahan organik adalah 20-30 (Verma, 2002).

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan eksperimen berdasarkan parameter TS dan rasio C/N untuk memperoleh nilai kadar TS optimum dalam produksi biogas dari fraksi

organik sampah kota serta pengaruh nilai rasio C/N pada umpan reaktor dengan kadar TS optimum terhadap produksi biogas.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan

Bahan baku utama produksi biogas yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sampah sayur dan buah misalnya sawi putih, sawi hijau, kubis, mangga, melon, semangka, pepaya yang diperoleh dari pasar Kranggan, Yogyakarta. *Effluent* digester aktif yang digunakan sebagai inokulum dalam proses produksi biogas diperoleh dari instalasi biogas Pusat Inovasi Agro Teknologi (PIAT) UGM, Berbah, Sleman, Yogyakarta. *Effluent* tersebut memiliki kadar TS 8,02-9,11% dan rasio C/N 32,37.

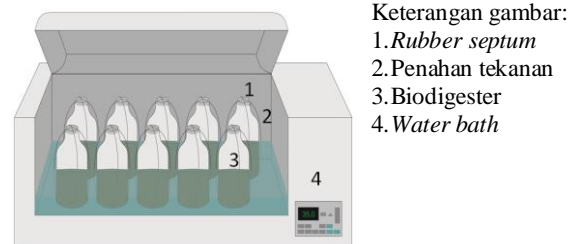
Tabel 1. Komposisi Bahan Baku pada Kadar TS umpan 20%

Bahan	TS (%wt)	Massa (g)	Persen Massa
Inokulum	8,02	83,33	6,683
Pepaya	29,24	17,86	5,222
Semangka	17,89	17,86	3,195
Melon	35,96	17,86	6,422
Sawi Hijau	35,18	26,79	9,424
Sawi Putih	47,72	26,79	12,784
Mangga	23,57	17,86	4,209
Kubis	21,44	17,86	3,829
Air	0	24,00	0,00
Jumlah Total (g)		250	51,770
Kadar TS campuran (%)			20,71

Sesuai dengan tujuannya, penelitian dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi Total Solid (TS) dan ratio C/N pada bahan baku digester. Adapun variasi konsentrasi TS diperoleh dengan menambahkan air sesuai dengan kebutuhan sedangkan ratio C/N diperoleh dengan menambahkan pupuk ZA. Tabel 1 menunjukkan komposisi bahan baku untuk konsentrasi TS 10% dan penambahan air dilakukan untuk memperoleh konsentrasi TS 15% dan 20%. Pupuk ZA yang digunakan sebagai nutrisi tambahan untuk mengatur nilai rasio C/N diperoleh dari UD. Tani Maju Yogyakarta, memiliki kandungan nitrogen 21% dan sulfur 24%.

2.2. Alat dan cara kerja

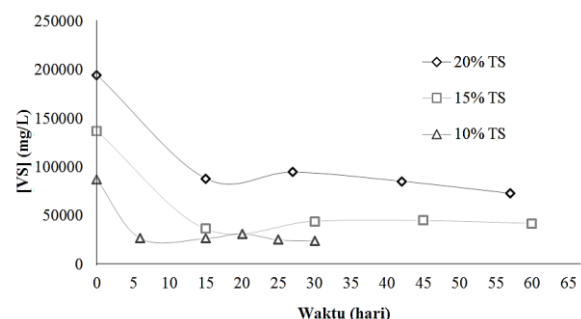
Alat yang digunakan untuk digester *batch* berupa botol kaca 500 mL. Percobaan dilakukan dalam keadaan anaerob pada suhu mesofilik (35°C) selama 30-60 hari. Substrat dengan berbagai kadar TS (20%, 15% dan 10%) masing-masing dimasukkan ke dalam digester, kemudian ditutup menggunakan *rubber septum* dan diikat menggunakan kawat kecil sebagai penahan tekanan. Masing-masing digester dilakukan uji kebocoran dengan merendamnya di dalam air. Setelah sistem tidak bocor yang ditunjukkan dengan tidak adanya gelembung gas yang keluar dari digester, kemudian digester di-*flushing* menggunakan gas nitrogen selama ± 5 menit untuk mengusir kandungan oksigen dalam digester. Gambar rangkaian alat produksi biogas dapat dilihat pada Gambar 1.



Keterangan gambar:
1. *Rubber septum*
2. Penahan tekanan
3. Biodigester
4. *Water bath*

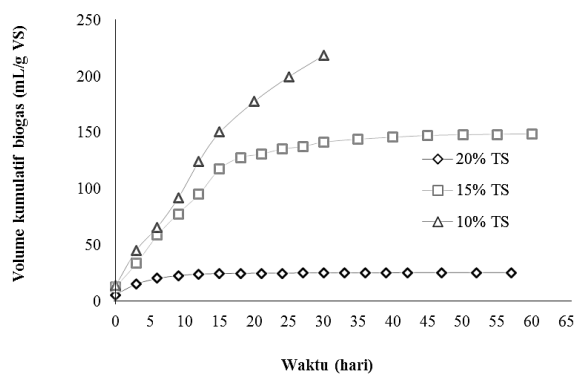
Gambar 1. Rangkaian Alat Produksi Biogas dari Fraksi Organik Sampah Kota

Analisis kadar TS dan VS dilakukan sesuai dengan metode standar analisis air limbah (APHA, 1998). Analisis karbon (C) dilakukan sesuai dengan standar analisis total organik karbon dalam tanah dan sedimen (USEPA, 2002) sedangkan analisis kadar nitrogen menggunakan metode Kjeldahl.



Gambar 2. Grafik Konversi VS terhadap Waktu pada Percobaan *Batch* berdasarkan Parameter TS.

Pengukuran tekanan biogas dilakukan setiap 3-5 hari sekali menggunakan manometer *pressure gauge*. Tekanan yang terukur digunakan untuk menghitung volume biogas yang dihasilkan. Setelah dilakukan pengukuran tekanan, gas dalam digester dibuang dengan cara memasukkan jarum yang dihubungkan dengan selang yang ujungnya dicelupkan ke dalam air. Pengambilan sampel gas dilakukan setiap seminggu sekali untuk mengetahui kadar metana dalam biogas. Analisis gas metana dilakukan menggunakan *Gas Chromatograph Shimadzu 8A* dilengkapi dengan kolom Porapak Q-100 mesh, dengan suhu injeksi, oven dan *detector* berturut-turut 80, 60, dan 80°C.

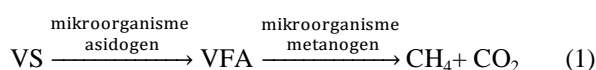


Gambar 3. Grafik Volume Kumulatif Biogas terhadap Waktu pada Percobaan *Batch* berdasarkan Parameter TS.

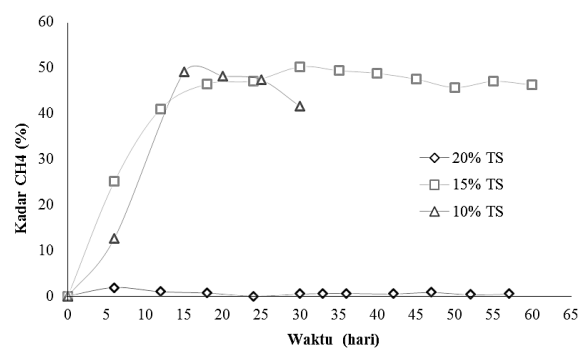
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh konsentrasi Total Solid (TS) terhadap volume dan kadar biogas

Volatile Solid (VS) adalah komponen dalam *Total Solid (TS)* yang berpotensi untuk bisa dikonversi menjadi biogas. Gambar 2 menunjukkan degradasi VS yang berada dalam umpan bahan baku sebagai pengaruh dari konsentrasi TS. Terlihat bahwa reduksi VS yang terbesar terjadi pada reaktor dengan TS 10%. Keberadaan lebih banyak air mendorong terjadinya reaksi hidrolisis yang menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa-senyawa sederhana untuk dikonsumsi oleh mikroorganisme penghasil metana sesuai dengan reaksi berikut.



Selain itu, keberadaan air juga mengencerkan sistem reaksi sehingga tidak terjadi lonjakan VFA yang akan bersifat *self-inhibitor* terhadap mikroorganisme anaerob. Gambar 3 menunjukkan volume kumulatif biogas per massa VS yang dihasilkan pada berbagai variasi TS yang dilakukan. Terlihat dengan jelas jika konsentrasi TS 10% menghasilkan volume biogas yang terbanyak sedangkan konsentrasi TS 20% menghasilkan biogas dengan volume terkecil. Pada sistem anaerob, ketersediaan bahan organik (yang dinyatakan sebagai VS) secara berlebih dapat menyebabkan tingginya konsentrasi *Volatile Fatty Acid (VFA)* yang dihasilkan oleh mikroorganisme asetonogen dan dapat mengakibatkan terjadinya penurunan pH. Menurut Mai (2006), pada tahap asidogenesis, penurunan pH dapat berlangsung dengan cepat seiring terjadinya konversi senyawa organik menjadi asam lemak volatil. Hal ini juga dikonfirmasi dengan data pH akhir sistem yang teramati saat pelaksanaan penelitian dimana pada konsentrasi TS 20% diperoleh pH 5. Kondisi tersebut merupakan kondisi yang tidak ideal untuk mikroorganisme metanogen.



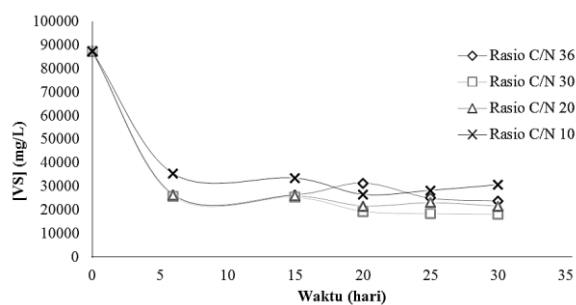
Gambar 4. Grafik Kadar CH₄ terhadap Waktu pada Percobaan *Batch* berdasarkan Parameter TS.

Gambar 4 menunjukkan kadar CH₄ yang dihasilkan dalam biogas dimana konsentrasi TS 20% menghasilkan kadar CH₄ terkecil (1,86%) sedangkan konsentrasi TS 10% mempunyai kadar 50,14%. Sebagaimana dijelaskan pada bagian sebelumnya jika keberadaan VS yang berlebih dan kurangnya kadar air akan menyebabkan pH sistem menjadi asam sehingga menjadi tidak cocok untuk aktivitas bakteri metanogen yang

menghasilkan CH_4 . Sebaliknya, lingkungan pH asam tersebut mendorong bakteri asidogen bekerja optimal untuk menghasilkan VFA tapi tidak dilanjutkan menjadi CH_4 oleh bakteri methanogen. Oleh karena itu, hal ini menghasilkan kadar CH_4 yang rendah pada konsentrasi TS yang besar dan berlebihannya jumlah VS pada sistem.

3.2. Pengaruh rasio C/N terhadap volume dan kadar biogas

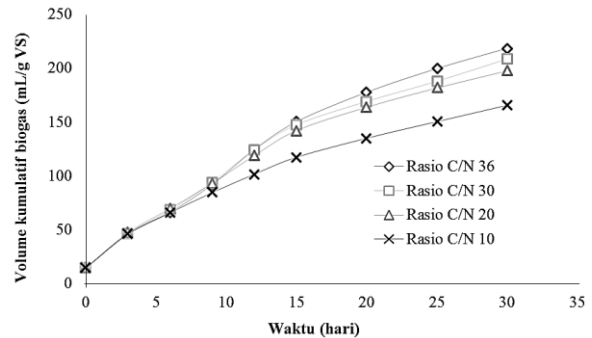
Konversi VS yang terjadi selama percobaan *batch* dengan pengaturan rasio C/N dapat dilihat pada Gambar 5. Konversi VS selama proses peruraian anaerob untuk rasio C/N 36, 30 dan 20 berada pada kisaran yang tidak jauh berbeda. Perbedaan yang signifikan ditunjukkan oleh konversi VS pada rasio C/N 10 yang paling sedikit jika dibandingkan dengan rasio C/N yang lebih besar. Hal yang perlu digarisbawahi dari data ini adalah perlunya mengendalikan jumlah N dalam reaktor anerob. Walaupun penambahan N dalam jumlah yang tepat dapat memperbaiki rasio C/N ke arah nilai idealnya, penambahan N yang berlebihan beresiko terjadi inhibitor oleh senyawa nitrogen yang dihasilkan, terutama ammonia bebas.



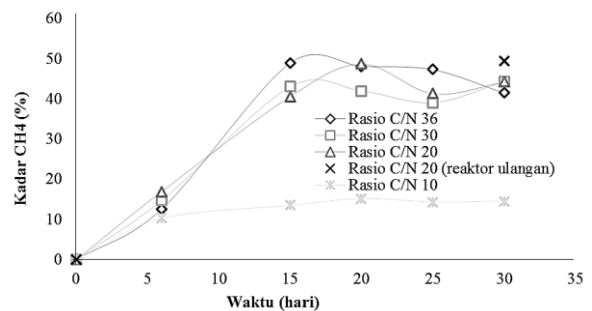
Gambar 5. Grafik Konversi VS terhadap Waktu pada Percobaan *Batch* berdasarkan Parameter Rasio C/N.

Volume kumulatif biogas per massa VS yang dihasilkan pada percobaan *batch* dengan pengaturan rasio C/N disajikan dalam Gambar 6. Kandungan metana dalam biogas disajikan dalam Gambar 7. Volume kumulatif biogas yang dihasilkan pada rasio C/N 36, 30 dan 20 berturut-turut adalah 218, 208 dan 197 mL/g VS dengan kadar gas metana maksimal masing-masing

adalah 48,93%, 44,36% dan 48,68%. Pada salah satu sampel uji pada reaktor ulangan untuk variasi rasio C/N 20, kadar gas metana pada hari ke-30 mencapai 49,57% sedangkan pada rasio C/N 10, biogas yang dihasilkan lebih rendah, yaitu 165 mL/g VS dengan kadar metana 15,21%.



Gambar 6. Grafik Volume Kumulatif Biogas terhadap Waktu pada Percobaan *Batch* berdasarkan Parameter Rasio C/N.



Gambar 7. Grafik Kadar CH_4 terhadap Waktu pada Percobaan *Batch* berdasarkan Parameter Rasio C/N

Hasil ini memberikan indikasi bahwa pada rasio C/N yang terlalu rendah justru beresiko terjadi inhibisi oleh ammonia akibat konsentrasi nitrogen yang tinggi. Ammonia merupakan nutrisi penting bagi mikroorganisme, tetapi dapat menjadi toksik bagi mikroorganisme metanogen jika terdapat dalam konsentrasi yang tinggi (Derilus, 2014).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi TS pada bahan baku digester berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah akumulatif biogas yang dihasilkan dan

kadar CH_4 . Diperlukan air dengan jumlah yang optimum untuk mempercepat proses hidrolisis sekaligus mencegah konsentrasi VFA terlalu tinggi yang beresiko inhibitor dalam sistem anaerob. Pada penelitian ini, untuk jenis sampah sayur/buah, nilai TS yang relatif baik adalah antara 10-15%.

2. Penambahan senyawa nitrogen (dalam penelitian ini digunakan pupuk ZA) dalam jumlah tertentu untuk membuat rasio C/N mendekati ideal dapat memperbaiki produktivitas menghasilkan biogas. Dalam penelitian ini, rasio C/N antara 20-30 memberikan hasil yang relatif paling baik dibandingkan nilai rasio C/N yang lain. Perlu dijaga agar nilai rasio C/N tidak terlalu rendah karena penelitian ini menunjukkan bahwa pada nilai rasio C/N 10, kinerja sistem anaerob justru lebih buruk. Hal ini kemungkinan disebabkan karena akumulasi ammonia bebas yang justru merupakan inhibitor.
3. Hasil penelitian ini memberikan rekomendasi jumlah penambahan air umpan bahan baku saat operasi skala industri yang mengolah sampah organik buah dan sayur. Untuk jenis bahan baku sampah yang kandungan nitrogennya relatif rendah seperti sampah sayur dan buah, penambahan nitrogen sebaiknya dilakukan dengan limbah-limbah organik yang tidak cepat menghasilkan ammonia.

5. Daftar Pustaka

- American Public Health Association (APHA), 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed. Washington DC.
- Buchori, L., Anggoro, DD. 2010. Pembuatan bahan bakar cair dari trembisi (sisa sadapan lateks) menggunakan katalis zeolit HY dan ZSM-5. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses* (ISSN: 1411-4216). Universitas Diponegoro, Semarang.
- Chen, S., Chen, B., Song, D. 2012. Life-cycle energy production and emissions mitigation by comprehensive biogas-digestate utilization. *Bioresource Technology*, 114, 357-364.
- Derilus, D., 2014. *Characterization of the Structure and Dynamics of Microbial Communities in Seawater Anaerobic Bioreactors by Using Next Generation Sequencing*. University of Puerto Rico.
- Holm-Nielsen, JB., Al-Seadi, T., Popiel, PO. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, 100, 5478-5484.
- Mai, H. N. P., 2006. *Integrated Treatment of Tapioca Processing Industrial Wastewater*. Wageningen University.
- Padmoro, D., Susanto, JP., 2007. Biogas sebagai energy alternative antara mitos dan fakta ilmiah. *J. Tek. Ling.* 8, 34-42 (ISSN 1441-318)
- Undang-Undang Republik Indonesia No 18, 2008, *Pengelolaan Sampah*.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2002. *Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments*.
- Verma, S., 2002. *Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes*. Master Thesis, Department of Earth and Environmental Engineering, Foundation of Engineering and Applied Science, Columbia University.