

PERENCANAAN ANAEROBIC DIGESTER SKALA RUMAH TANGGA UNTUK MENGOLAH LIMBAH DOMESTIK DAN KOTORAN SAPI DALAM UPAYA MENDAPATKAN ENERGI ALTERNATIF

Ramdhaniati, A.¹⁾ Soedjono, E.S.²⁾

Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP – ITS Surabaya, email: soedjono@enviro.its.ac.id

Abstrak - Pada kehidupan sehari-hari manusia menghasilkan air buangan yang disebut air limbah domestik. Air limbah domestik dapat dikelompokkan kedalam 2 bagian, *blackwater* dan *greywater*. Di kalangan masyarakat peternak, selain limbah domestik juga dihasilkan limbah berupa kotoran sapi. Pengolahan untuk *blackwater*, *greywater*, dan kotoran sapi yang dapat diterapkan dalam skala rumah tangga adalah *anaerobic digester*. *Anaerobic digester* memiliki keuntungan diantaranya menghasilkan sedikit lumpur dan juga menghasilkan biogas dari proses anaerobik tersebut. Biogas yang dihasilkan merupakan solusi energi alternatif bagi masyarakat miskin untuk memenuhi kebutuhan energi untuk memasak. Digester yang banyak digunakan oleh masyarakat saat ini dinilai belum efisien karena digunakan untuk mengolah limbah dari jumlah ternak yang berbeda-beda. Pada perencanaan digester anaerobik skala rumah tangga ini akan direncanakan dengan sistem intermitten dalam empat variasi komposisi limbah *blackwater* dan kotoran sapi. Variasi komposisi *blackwater* dan kotoran sapi direncanakan untuk 1 KK : 2 sapi; 1 KK : 3 sapi; 1 KK : 4 sapi; dan 1 KK : 5 sapi;. Perencanaan digester dilakukan untuk digester dan bangunan pelengkap seperti WC (jika diperlukan), bak penampung substrat dan pengaduk, pelampung gas, dan bak residu. Perencanaan digester dimulai dari perhitungan debit limbah, kebutuhan biogas tiap rumah, proses anaerobik, volume dan dimensi digester. Perencanaan *anaerobic digester* skala rumah tangga ini dihasilkan empat variasi desain yaitu 3 m³, 4,1 m³, 5,2 m³, dan 8 m³. Digester terbuat dari tangki *polyethylene* yang memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu, kuat, dan tidak berkarat. Umur pakai digester diperkirakan hingga sepuluh tahun pemakaian.

Kata kunci: *Blackwater*, *Greywater*, Kotoran Sapi, *Anaerobic Digester*, Biogas

I. PENDAHULUAN

Pada kehidupan sehari-hari manusia menghasilkan air buangan yang disebut air limbah domestik. Air limbah domestik dapat dikelompokkan dalam 2 bagian, yaitu air yang dihasilkan dari WC yang terdiri dari air kencing, tinja, air pembersih anus, materi pembersih, dan air guyur yaitu disebut *blackwater* dan air limbah yang dihasilkan dari air bekas mandi, mencuci pakaian, dan buangan cair dari dapur yaitu disebut *greywater*. *Blackwater* mengandung bahan organik yang lebih tinggi dibanding *greywater* (Soedjono dkk, 2010). Pada komunitas masyarakat miskin *blackwater* dihasilkan rata-rata 10 liter per orang per hari sedangkan *greywater* dihasilkan rata-rata 30 liter per orang per hari. Salah satu mata pencaharian masyarakat Indonesia adalah peternak sapi perah. Adapun sentral peternak sapi perah tersebar beberapa wilayah di Jawa Timur beturut-turut yaitu Kabupaten Malang, Pasuruan, Tulung Agung, Probolinggo, Blitar, Kediri, Trenggalek, Lumajang, dan seterusnya (Ditjen Peternakan, 2010) seperti pada Gambar 1. Peternak sapi di Indonesia rata-

rata memiliki 2-5 ekor sapi. Sapi ini juga menghasilkan buangan berupa kotoran dan air kencing kurang lebih 25 kg per ekor per hari (Wahyuni, 2010). Berdasarkan Badan Pusat Statistik 2007, masyarakat Indonesia yang tidak memiliki jamban pribadi di rumah sebanyak 40,14%. Dari data diatas, 49,43% diantaranya merupakan masyarakat pedesaan. Hal tersebut berarti masyarakat yang tidak memiliki jamban pribadi melakukan perilaku buang air besar sembarangan (BABS). Perilaku BABS menunjukkan bahwa kondisi sanitasi masyarakat masih buruk. Kondisi diatas menunjukkan diperlukannya pengolahan limbah dan pemenuhan kebutuhan energi. Pengolahan untuk limbah domestik dan kotoran sapi yang dapat diterapkan dalam skala rumah tangga adalah *anaerobic digester*. *Anaerobic digester* memiliki keuntungan diantaranya menghasilkan sedikit lumpur dan juga menghasilkan biogas dari proses anaerobik tersebut. Biogas yang dihasilkan merupakan solusi energi alternatif bagi masyarakat miskin untuk memenuhi kebutuhan energi untuk memasak (Polprasert, 1996). Digester yang banyak digunakan oleh masyarakat saat ini adalah digester tipe *floating drum* atau digester plastik berukuran 5 m³ untuk skala rumah tangga dan digester tipe *fixed dome* berukuran 9 m³ untuk skala komunal. Digester tersebut dinilai belum efisien karena hanya terdapat satu ukuran yang digunakan untuk mengolah limbah dari jumlah ternak yang berbeda-beda. Jumlah kotoran ternak yang beragam mengakibatkan jumlah gas yang dihasilkan berbeda karena digester akan memiliki waktu tinggal lumpur yang berbeda pula. Waktu tinggal lumpur yang terlalu pendek akan mengakibatkan tidak terbentuknya gas metan. Oleh karena itu, diperlukan digester yang lebih efisien dalam mengolah limbah dengan batasan jumlah limbah tertentu.



Gambar 1 Penyebaran Sentral Peternak Sapi Perah di Jawa Timur

Sumber: Ditjen Peternakan, 2010

Limbah cair rumah tangga dapat dibedakan sebagai *blackwater* dan *greywater*. *Blackwater* adalah yang dihasilkan dari WC sebagai pembuangan (*user-interface*). Dalam rumah tangga miskin, limbah ini sering dibuang saja ke cubluk atau sebagian kecil ke tangki septik. *Blackwater* terdiri dari air kencing, tinja, air pembersih anus, materi pembersih, dan air guyur. Di perkotaan *blackwater* yang dihasilkan 20 – 60 liter per orang per hari. Sedangkan pada masyarakat pedesaan, *blackwater* yang dihasilkan rata-rata 10 liter per orang per hari. *Greywater* adalah air limbah yang dihasilkan dari air bekas mandi, mencuci pakaian, dan buangan cair dari dapur. Air seperti ini mencapai sekitar 60% dari air limbah yang dihasilkan oleh rumah tangga (Soedjono dkk, 2010). Adapun tipikal kuantitas dan karakteristik air limbah rumah tangga menurut Kujawa (2005) dalam Soedjono dkk (2010) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik *Blackwater*, *Greywater* dan Kotoran Sapi

Parameter	<i>Blackwater</i> (per orang per hari)	<i>Greywater</i> (Per orang per hari)	Kotoran Sapi (per ekor per hari)
Debit (liter)	10	30	20 - 25
TSS	1 % TWW	-	9,3 % TWW
TVS	-	-	80,3 % TSS
BOD	560 mg/l	100 – 400	20,4 % TSS
COD/BOD	3	2	7,2
C/N	5,9 - 10		16,6 - 25
N	6	8	4 % TSS

Sumber: *Kaltwasse, 1980 dalam Wahyuni, 2010*

Dalam perencanaan digester, penentuan SRT dipengaruhi oleh suhu dan jenis limbahnya. Proses fermentasi pada suhu mesofilik (20 – 40 °C) dengan bahan limbah dari kotoran sapi, digunakan nilai SRT 20 – 30 hari. SRT yang terlalu pendek menyebabkan bakteri yang sedang bekerja mati terbang sebelum berkembang biak dalam digester, sehingga gas metan tidak sempat terbentuk. Kriteria desain digester biogas menurut Polprasert (1989) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kriteria Desain Digester Biogas

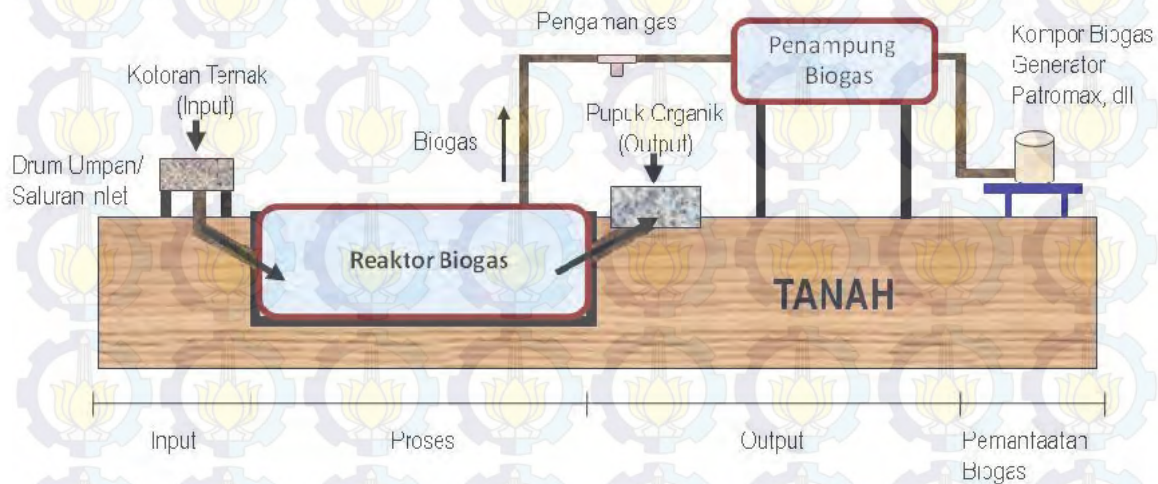
Kriteria	Satuan	Nilai
Temperatur	°C	25-40
pH	-	6,6-7,6
Alkalinitas	mg CaCO ₃ /L	2500-5000
Rasio C/N	-	25-30
SRT	Hari	10-60
Loading rate	kg VS/m ³ hari	1-4
Loading rate	kg COD/m ³ hari	1-6
Removal COD	%	30-70
Removal VS	%	40-70
Reduksi N	%	20-35

Sumber: *Polprasert, 1989*

Di Indonesia, tipe digester yang banyak digunakan adalah reaktor balon yang terbuat dari plastik UV dan *fixed dome* yang terbuat dari beton. Reaktor balon atau digester plastik ini merupakan digester skala rumah tangga berukuran 5 – 6 m³ yang digunakan untuk mengolah kotoran sapi dengan kapasitas 2-5 ekor sapi. Digester tipe *fixed dome* merupakan digester skala komunal

berukuran 9 m³. Hingga saat ini digester digunakan untuk mengolah kotoran sapi saja. Digester dilengkapi dengan plastik penampung gas sebelum dialirkan menuju kompor. Digester tipe balon dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada awalnya, teknologi biogas digunakan sebagai pengolahan air limbah industri dan stabilisasi lumpur. Biogas merupakan hasil dari degradasi secara anaerobik dari zat-zat organik (Yadvika, 2004). Kandungan biogas tergantung dari beberapa faktor seperti komposisi limbah yang dipakai bahan baku, beban organik dari digester, dan waktu serta temperatur dari penguraian secara anaerobik. Gas yang terkandung dalam biogas dan prosentasenya dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 2 Digester Plastik Tipe Balon di Indonesia

Sumber: Wahyuni, 2010

Tabel 3 Kandungan Biogas

Kandungan Biogas	Prosentase (%)
Metana (CH ₄)	55 – 65 %
Karbondiodksida (CO ₂)	35 – 45 %
Nitrogen (N ₂)	0 – 3 %
Hidrogen (H ₂)	0 – 1 %
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	0 – 1 %

Sumber: Polprasert, 1989

Produk utama dari proses dekomposisi anaerobik limbah organik adalah gas metan. Metan tidak berwarna, tidak berbau, dan memiliki nilai bakar yang tinggi terhadap hidrokarbon. Pada kondisi normal gas tidak terdapat dalam air limbah yang tidak diolah karena jumlah oksigen yang kecil cenderung menjadi racun bagi organisme yang berperan pada produksi gas metan. Namun, terkadang gas metan tetap diproduksi sebagai hasil dari pengolahan limbah secara anaerobik (Metcalf dan Eddy, 2003). Menurut Wen (1984) dalam Wahyuni (2010), dijelaskan jumlah biogas yang diperlukan untuk memasak dengan berbagai spesifikasi penggunaan, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Jumlah Biogas Yang Diperlukan Untuk Memasak

Pemakaian	Spesifikasi	Volume Biogas yang dibutuhkan (m ³ /jam)
Memasak	2 kali	0,33
	4 kali	0,47
	6 kali	0,64
	2-4 kali	0,23-0,45
	per orang/hari	0,34-0,42

Sumber: Wen, 1984 dalam Wahyuni, 2010

II. METODE

Metode perencanaan adalah langkah-langkah teknis yang akan dilakukan selama perencanaan tugas akhir. Metode perencanaan dimulai dengan pengumpulan data sekunder, analisis data, perencanaan, analisa dan pembahasan, hingga kesimpulan dan saran.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan dua cara yaitu pengumpulan data sekunder. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan mengutip dari buku atau penelitian terdahulu yaitu dari jurnal-jurnal yang sudah di publikasikan. Data sekunder yang dibutuhkan adalah karakteristik *blackwater*, *greywater* dan kotoran sapi, volume *blackwater* per orang per hari, volume *greywater* per orang per hari dan volume kotoran sapi per ekor per hari. Data sekunder ini digunakan untuk perhitungan perencanaan digester dan *mass balance* proses anaerobik yang berlangsung.

Pengolahan Data

Pengolahan data sekunder yang didapatkan akan dianalisa dan dipilih yang sesuai dengan kondisi perencanaan yang diinginkan. Studi literatur dipilih dengan studi kasus di Indonesia hingga beberapa negara berkembang yang memiliki karakteristik yang mirip yaitu negara berkembang di Asia seperti Thailand, India, Vietnam, China, dll.

Perencanaan Digester

Setelah dilakukan pengolahan data sekunder, kemudian dilakukan perencanaan digester dengan menggunakan data-data tersebut. Langkah-langkah perencanaan digester sebagai berikut :

1. Penentuan Bak Pelengkap

Bak pelengkap yang direncanakan adalah WC (jika diperlukan), bak penampung dan pengaduk, bak penampung gas dan bak penampung residu. Bak pengaduk berfungsi sebagai bak penampung limbah domestik dan kotoran sapi karena limbah tidak dihasilkan dalam waktu yang bersamaan. Dalam bak penampung ini akan dilakukan penentuan komposisi sesuai tipe variasi, kemudian dilakukan pengadukan agar limbah tercampur membentuk lumpur (*slurry*) sebelum limbah dimasukkan ke dalam digester. Bak penampung direncanakan terbuat dari drum. Bak penampung residu berfungsi sebagai bak penampung effluent. Penampung gas berfungsi sebagai penampung biogas yang terbentuk. Digester direncanakan dengan type floating

sehingga penampung gas direncanakan terbuat dari bak plastik yang ringan diletakkan terbalik diatas digester.

2. Perhitungan Debit Limbah

Perhitungan debit limbah (*blackwater*, *greywater* dan kotoran sapi) dilakukan sesuai variasi yang ditentukan yaitu limbah domestik : kotoran sapi sebagai berikut 1 KK : 2 sapi; 1 KK : 3 sapi; 1 KK : 4 sapi; dan 1 KK : 5 sapi. Perhitungan debit limbah didapatkan dari hasil perkalian volume *blackwater* dan *greywater* per orang per hari dan kotoran sapi per ekor per hari dengan jumlah orang dan sapi tiap rumah. Hasil debit limbah yang didapatkan akan digunakan dalam perhitungan volume digester yang dibutuhkan.

3. Perhitungan Kebutuhan Biogas

Perhitungan kebutuhan biogas didapatkan dari konversi kebutuhan bahan bakar untuk memasak tiap rumah. Perhitungan konversi bahan bakar ke biogas dilakukan sesuai dengan studi literatur yang digunakan.



Gambar 3 Metode Perencanaan

4. Perhitungan Volume dan Dimensi Unit Pengolah

Perhitungan volume dan dimensi unit pengolah juga dilakukan pada tiap variasi yang didapatkan. Volume unit pengolah didasarkan pada debit limbah yang dihasilkan tiap hari. Untuk volume digester juga harus memperhatikan masa tinggal lumpur yang direncanakan. Perhitungan volume dan dimensi digester juga mempertimbangkan jumlah biogas yang dihasilkan secara optimal, agar kebutuhan energi untuk memasak tiap rumah terpenuhi. Digester yang akan digunakan terbuat dari tangki *polyethylene* dengan tipe *fixed dome*.

Analisa dan Pembahasan

Pada analisa dan pembahasan akan dibahas perhitungan mass balance, gambar teknik, dan perhitungan BOQ dan RAB.

1. Perhitungan Komposisi Substrat

Perhitungan komposisi substrat adalah perhitungan volume campuran *blackwater*, *greywater*, dan kotoran sapi yang ideal sesuai dengan kriteria proses anaerobik untuk menghasilkan biogas yang optimal.

2. Perhitungan *Mass Balance*

Perhitungan *mass balance* dilakukan untuk lumpur dalam digester dan *mass balance* biogas yang terbentuk.

3. Gambar Teknik

Hasil perhitungan perencanaan digester akan divisualisasikan dalam bentuk gambar teknik.

4. Perhitungan BOQ dan RAB

Perhitungan BOQ dan RAB adalah perhitungan jumlah bahan dan harga yang diperlukan dalam membangun digester dan bangunan pelengkapannya.

Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan didasarkan pada data yang telah diperoleh dari hasil perencanaan dan analisa dan pembahasan yang dilakukan. Saran diberikan setelah ditarik kesimpulan pada perencanaan dan saran ini diharapkan dapat memberi manfaat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan komposisi substrat dilakukan untuk setiap problem jumlah limbah yang dihasilkan yaitu limbah dari 1KK dan 2 ekor sapi, 1KK dan 3 ekor sapi, 1KK dan 4 ekor sapi dan 1KK dan 5 ekor sapi. Perhitungan volume komposisi substrat dilakukan dengan prinsip pencampuran untuk mendapatkan karakteristik campuran substrat yang sesuai dengan kriteria proses anaerobik.

$$N \text{ campuran} = \frac{(N_1 \times V_1) + (N_2 \times V_2)}{V_1 + V_2}$$

Tabel 5 Komposisi Substrat Ideal Proses Anaerobik

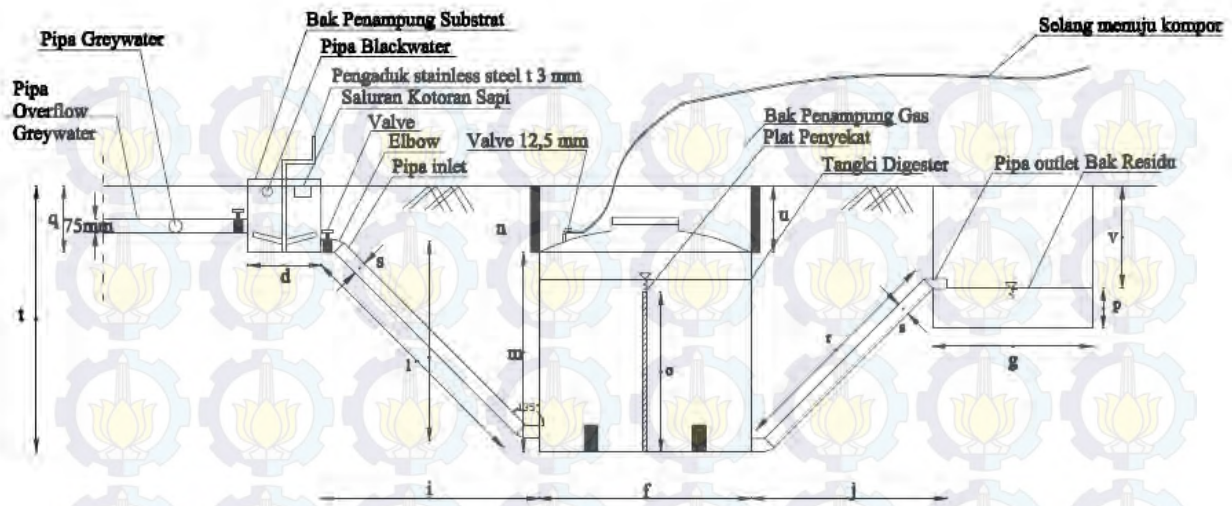
No.	Komposisi	Limbah yang diolah dalam digester (liter/hari)			Komposisi Campuran (mg/liter)				
		Blackwater	Greywater	Kotoran Sapi	COD	Total N	Total P	Rasio C/N	% TS
1	1 KK + 2 Sapi	50	0	42	9655	382	81	25	7
2	1 KK + 3 Sapi	50	20	63	9893	362	73	27	7
3	1 KK + 4 Sapi	50	40	83	9955	350	68	28	7
4	1 KK + 5 Sapi	50	61	104	9993	342	65	29	7

Digester tipe I akan diisi limbah dengan komposisi 50 liter *blackwater* yang dihasilkan oleh 1 keluarga dicampur 42 liter kotoran sapi yang dihasilkan oleh 2 ekor sapi perah dihasilkan konsentrasi COD campuran adalah 9655 mg/liter. Effisiensi removal COD pada digester adalah 50%. Perhitungan gas metan dikonversikan sebagai COD teremoval dalam *anaerobic digester* sehingga didapatkan gas metan yang terproduksi dari proses anaerobik adalah 260 liter/hari. Pada proses anaerobik bukan gas metan saja yang dihasilkan, namun terdapat gas-gas lain seperti CO₂, N₂, H₂, H₂S. Prosentase gas metan dalam biogas adalah 60% sehingga biogas yang dapat dimanfaatkan adalah 445 liter/hari. Angka ini kurang lebih cukup memenuhi kebutuhan energi untuk memasak rata – rata per hari yaitu 330 liter/hari selama 1 jam. Produksi biogas tiap komposisi limbah dapat dilihat pada Tabel 6.

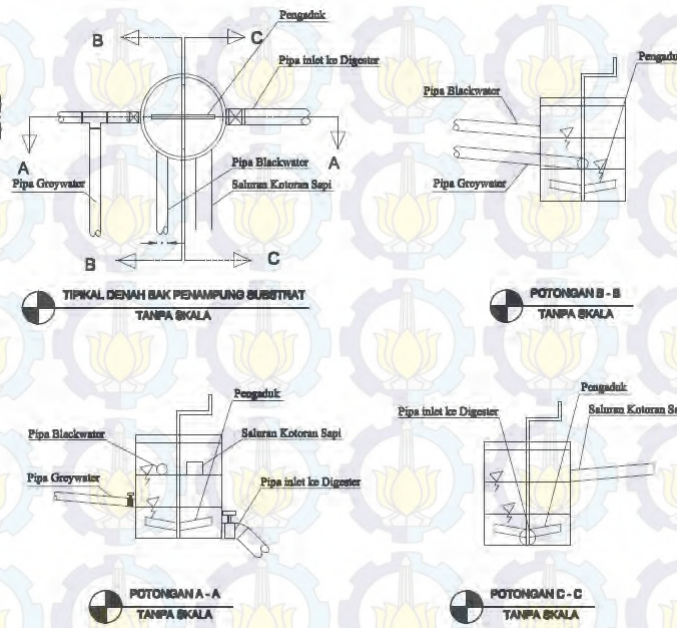
Tabel 6 Produksi Biogas Tiap Komposisi Limbah

No.	Komposisi	Debit Total	COD Influen	COD Effluen	COD VSS	COD Metan	Produksi Metan	Produksi Biogas
		Liter/hari	mg/hari	mg/hari	mg/hari	mg/hari	Liter/ hari	Liter/ hari
1	1 KK + 2 Sapi	92	885000	177000	40214	667786	267	445
2	1 KK + 3 Sapi	132	1307321	261464	59405	986452	395	658
3	1 KK + 4 Sapi	174	1730238	346048	78622	1305568	522	870
4	1 KK + 5 Sapi	215	2153155	430631	97839	1624684	650	1083

Detail dimensi *anaerobic digester* dan bangunan pelengkapanya untuk setiap komposisi substrat dapat dilihat pada Tabel 7. Tipikal gambar dapat dilihat pada Gambar 4. Pada *anaerobic digester* tipe 4 dapat dimanfaatkan untuk limbah ternak dari 5 – 6 ekor sapi. Volume dari tangki *digester* direncanakan dari tangki *polyethylene* yang tersedia di pasaran. Volume digester yang direncanakan pada komposisi limbah untuk digester tipe 4 tidak tersedia sehingga diambil volume yang lebih besar.



Gambar 4 TIPIKAL POTONGAN A – A ANAEROBIC DIGESTER



Gambar 5 DETAIL BAK PENAMPUNG SUBSTRAT

Tabel 7 Dimensi Digester dan Bangunan Pelengkapinya

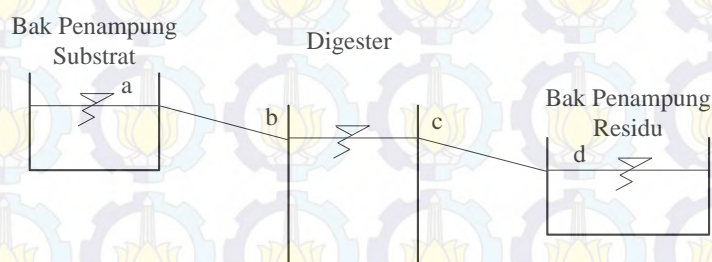
No .	Tipe Digester	Debit Total Liter/hari	Bak Pengaduk		Digester			Penampung Gas			Bak Residu		
			Diameter (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Diameter (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Diameter (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)
1	Tipe 1	91,7	0,5	0,6	3	1,6	1,45	2	1,4	1,3	2,0	1,5	0,3
2	Tipe 2	132,1	0,6	0,6	4,1	1,75	1,7	3	1,6	1,45	2,7	1,65	0,3
3	Tipe 3	173,8	0,7	0,6	5,2	1,87	1,9	4,1	1,75	1,7	2,4	1,77	0,4
4	Tipe 4	215,5	0,8	0,6	8	2,1	2,3	5,2	1,87	1,9	2,7	2	0,4

Tabel 8 Keterangan Gambar *Anaerobic Digester*

No.	Tipe Digester	c	d	e	f	g	h	i	j	k
		m	m	m	m	m	m	m	m	m
1	Tipe 1	0,20	0,54	1,4	1,6	2,02	1,5	1,3	1,3	1,6
2	Tipe 2	0,20	0,65	1,6	1,75	2,65	1,65	1,6	1,5	1,75
3	Tipe 3	0,20	0,74	1,75	1,87	2,44	1,77	1,8	1,8	1,87
4	Tipe 4	0,20	0,83	1,87	2,1	2,67	2	2,1	2,1	2,1

Lanjutan Tabel 8

No.	Tipe Digester	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v
		m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
1	Tipe 1	1,80	1,45	1,3	1	0,30	0,60	1,80	0,10	1,98	0,53	1,01
2	Tipe 2	2,30	1,70	1,45	1	0,30	0,60	2,20	0,10	2,26	0,56	1,08
3	Tipe 3	2,60	1,90	1,7	1	0,40	0,60	2,50	0,12	2,50	0,60	1,13
4	Tipe 4	3,00	2,3	1,9	1	0,40	0,60	2,90	0,12	2,80	0,50	1,22



TIPIKAL PROFIL HIDROLIS

Keterangan:

No.	Tipe Digester	a	b	c	d
		m	m	m	m
1	Tipe 1	+ 0,00	-0,41	-0,74	-0,81
2	Tipe 2	+ 0,00	-0,42	-0,78	-0,88
3	Tipe 3	+ 0,00	-0,41	-0,82	-0,93
4	Tipe 4	+ 0,00	-0,42	-0,89	-1,02

Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya (RAB) adalah biaya yang diperkirakan untuk pembuatan alat yang direncanakan tersebut. RAB *anaerobic digester* ini menggunakan nilai HSPK Kota Surabaya. RAB *anaerobic digester* untuk tiap desain dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Rencana Anggaran Biaya Tiap Tipe Digester

No.	Tipe Digester	Volume Digester	Produksi Biogas	Harga <i>Anaerobic Digester</i>
		m ³	liter/hari	
1	Tipe 1	3	445	Rp 6.380.000
2	Tipe 2	4,1	658	Rp 7.905.000
3	Tipe 3	5,2	870	Rp 10.065.000
4	Tipe 4	8	1083	Rp 13.240.000

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari tugas akhir perencanaan *anaerobic digester* ini adalah:

1. Volume digester yang efisien sesuai dengan limbah yang dihasilkan dari tiap keluarga yaitu tipe 1 3 m³, tipe 2 4,1 m³, tipe 3 5,2 m³ dan tipe 4 8 m³. *Anaerobic digester* tipe *floating drum* ini mengolah *blackwater*, *greywater* dan kotoran sapi dengan sistem pengaliran secara gravitasi yang dialirkan melalui pipa dan memiliki sistem pipa overflow *greywater*.
2. *Anaerobic digester* dilengkapi dengan bak penampung substrat dan pengaduk, tangki digester, bak penampung gas (*floating drum*), dan penampung residu dengan harga yaitu tipe 1 dengan volume digester 3 m³ dan harga Rp 6.380.000,-, tipe 2 dengan volume digester 4,1 m³ dan harga Rp 7.905.000,-, tipe 3 dengan volume digester 5,2 m³ dan harga Rp 10.065.000,-, dan tipe 4 dengan volume digester 8 m³ dan harga Rp 13.240.000,-.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhlus, S., Indra, Asri Peni W., Santoso, E., 1991, Produksi dan Komposisi Gas Hasil MUR pada Pilot Plan Biogas ITS, Pusat Penelitian ITS, Surabaya.
- Direktorat Jendral Peternakan, 2010,
<URL:http://www.ditjennak.go.id/peta%20sapi/Peta_Pop_Saper2010_Final.pdf.html>
- Henry, C dan Koelsch, R., 2002, Mature Matter, University of Nebraska, Lincoln, USA.
- Hills, D.J., 1979, Effects of Carbon:Nitrogen Ratio on Anaerobic Digestion of Dairy Manure, Agricultural Wastes 0141-4607/79/0001-0267. Applied Science Publishers Ltd, England.
- Metcalf dan Eddy Inc., 1991, Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse. 3th Edition, Mc Graw-Hill Publishing Company Ltd
- Metcalf dan Eddy Inc., 2003, Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse. 4th Edition, Mc Graw-Hill Publishing Company Ltd.
- Polprasert, C., 1989, Organic Waste Recycling 2nd edition, Environmental Engineering Div. Asian Institute of Technology Bangkok, Thailand.
- Price, E.C. dan Cheremisinoff, P.N., 1981, Biogas Production & Utilization, Ann Arbor Science Publisher Inc., USA.
- Singarimbun, M. dan Effendi, S., 1995, Metode Penelitian Survey, LP3Es, Jakarta.
- Slamet, L., 2001, Pemanfaatan Gas Metan Sebagai sumber Energi, Berita Dirgantara Vol.2 No.1.
- Soedjono, E. S., Wibowo, T., Saraswati, S. S., dan Keetelaar, C., 2010, Buku Referensi Opsi Sistem dan Teknologi Sanitasi, TTPS.
- Tchobanoglous, G., Theissen, H., dan Vigil, S., 1993, Integrated Solid Waste Management, McGraw-Hill Inc., Singapore.
- Triatmodjo, B., 1995, Hidraulika II, Yogyakarta: Beta Offset.
- Wahyuni M.P., Sri., 2010, Biogas, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Wijayanti, H., 1993, Pengaruh pH, Alkalinitas dan Nutrient Terhadap Produksi Gas Methan Pada Pengolahan Limbah Industri Alkohol secara Anaerobik Dengan dan Tanpa Pengadukan, Jurusan Teknik Lingkungan-ITS, Surabaya.
- Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., dan Rana, V., 2004, Enhancement of Biogas Production From Solid Substrates Using Different Techniques—A Review, Biosource Technology Volume 95.
- Yustikarini, R.T., 1999, Studi Kinerja Anaerobik Radial Pengadukan Reaktor Terhadap Penurunan Kandungan COD dan SS Influent IPLT Sukolilo, Jurusan Teknik Lingkungan ITS, Surabaya.