

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201941437, 28 Mei 2019

Pencipta

Nama : **BUDY RAHMAT**
Alamat : Jl. Peta No 20 Cikunten Indah RT 01/10, Tasikmalaya, Jawa Barat, 46115
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **BUDY RAHMAT**
Alamat : Jl. Peta No. 20 Cikunten Indah RT 01/10, Tasikmalaya, Jawa Barat, 46115
Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Laporan Penelitian**

Judul Ciptaan : **Rancang-bangun Digester Termofilik Untuk Konversi Limbah Pemukiman Menjadi Pupuk Organik Dan Pengendalian Gas Metana Yang Ramah Lingkungan**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 28 Mei 2019, di Tasikmalaya

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor pencatatan : 000143016

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001

LAPORAN PENELITIAN

**RANCANG-BANGUN DIGESTER TERMOFILIK
UNTUK KONVERSI LIMBAH PEMUKIMAN MENJADI
PUPUK ORGANIK DAN PENGENDALIAN GAS METANA
YANG RAMAH LINGKUNGAN**

Oleh

BUDY RAHMAT

RINGKASAN

Penelitian ini memiliki tujuan jangka panjang menyediakan teknologi pengolahan limbah yang layak secara teknis dan ekonomi diterapkan di setiap unit pemukiman. Teknologi ini selain mampu mereduksi limbah padat rumah tangga, juga dapat dihasilkan pupuk organik dan pemanfaatan gas metana agar tidak lepas ke udara. Kelembagaan ini akan banyak menyelesaikan problem sampah di sumbernya, sehingga beban akumulasi sampah berkurang drastis di setiap lokasi penampungan.

Tujuan khusus penelitian ini merancang-bangun instalasi digester biogas yang mampu fasilitasi kinerja tinggi konsorsium mikroba ekstremofilik, terutama suhu ekstrem termofilik 55-60°C dalam penguraian bahan organik kompleks. Digester tersebut harus terdiri dari: (i) praperlakuan, terdapat: pemilahan bahan, penggilingan bahan, pemanas surya, dan pengkondisian pH; (ii) tangki pradigester, yaitu tempat terjadi proses degradasi senyawa kompleks secara termofilik; (iii) tangki digester tempat berlangsungnya dekomposisi substrat secara anaerob; dan (iv) penampung hasil, berupa: pupuk cair, kompos, dan gas metana (biogas).

Berdasarkan data hasil percobaan yang telah dilakukan, praperlakuan substrat dengan proses termofilik dapat mengurai limbah pisang, pepaya, dan campuran pisang-pepaya dapat mempersingkat waktu digesti menjadi 3 hari. Hasil penguraian setiap 4 kg limbah pisang, limbah pepaya, campuran limbah pisang-pepaya 1: 1, dan campuran limbah pisang-pepaya 1.5: 1 masing-masing dihasilkan biogas berturut-turut 10.200 cm³, 6,050 cm³, 12,750 cm³, dan 6.950 cm³. Juga dari jumlah substrat itu masing-masing dihasilkan digestat cair 5.900 mL, 6.800 mL, 6.300 mL, dan 6.500 mL; juga masing-masing menghasilkan kompos kering 1.420 g, 1.130 g, 1.337 g dan 1.098.58 g.

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	2
DAFTAR ISI	3
I PENDAHULUAN	4
1.1. Latar Belakang	4
1.2. Tujuan	4
1.3. Kegunaan	5
II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Karakteristik Limbah Pemukiman	6
2.2. Digester Biogas	6
2.3. Aplikasi Teknologi Biogas dalam Pengolahan Limbah Pemukiman	9
III METODE PENELITIAN	11
3.1. Rancang-bangun Digester Biogas Termofilik	11
3.2. Pelaksanaan Percobaan	13
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1. Hasil Rancang-bangun Digester Termofilik	16
4.2. Uji Kinerja Digester Termofilik	17
V KESIMPULAN DAN SARAN	21
5.1. Kesimpulan	21
5.2. Saran	21
DAFTAR PUSTAKA	22

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Menurut pengamatan Penulis di lapangan dalam kurun 2006-2016, digester biogas yang telah dibangun sawadaya ataupun dari hibah yang bekerja pada kondisi ambient yaitu tanpa pemanasan dan praperlakuan bahan, banyak menemui kegagalan. Menurut Kale dan Mehetre (2002) dan Rahmat *et al.* (2014) keterbatasan kinerja digester biogas konvensional yang bekerja pada suhu lingkungan (ambient) adalah :

- 1) Hanya bekerja pada bahan organik sederhana sampai intermediet, tapi tidak mampu mengurai bahan organik kompleks padat (selulosa dan hemiselulosa) berasal limbah pemukiman, berakibat terjadinya penumpukan dan penyumbatan digester.
- 2) Proses digesti tidak sempurna, sehingga dihasilkan pupuk cair yang masih berbau dan kompos kasar-berserat.
- 3) Proses berjalan lambat yang memakan waktu sekitar 30 hari, sehingga produktivas digesti rendah

Merujuk hasil penelitian Brown *et al.* (2008), Nair (2010) dan Zhang *et al.* (2014) bahwa, proses digesti ekstremofilik dengan penerapan suhu 55 hingga 60 °C dan ditunjang oleh praperlakuan, seperti: pemilahan, penghalusan bahan dan pengaturan pH mampu meningkatkan kinerja penguraian bahan organik kompleks dalam limbah pemukiman.

Berdasarkan uraian di atas, perlu dikembangkan penggunaan konsorsium mikroba pengurai limbah dalam kondisi ekstremofilik, yaitu suhu termofilik antara 55 hingga 60 °C yang bekerja efektif terhadap senyawa kimia organik kompleks dalam limbah. Untuk terselenggaranya proses tersebut diperlukan suatu perangkat (*plant*) digester atau reaktor yang dapat memfasilitasi kondisi tersebut.

1.2. Tujuan

Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui:

Penelitian ini bertujuan untuk :

- 1) Membuat inovasi dalam konversi limbah pemukiman dengan proses berbasis digesti termofilik agar penguraian mikrobiologis berjalan cepat dan sempurna, sehingga akan menurunkan penumpukan limbah pemukiman secara signifikan.
- 2) Memproduksi pupuk organik cair dan kompos yang telah matang; serta mencegah pelepasan gas metana ke udara.
- 3) Rancang-bangun digester yang mampu: (i) fasilitasi praperlakuan bahan senyawa kompleks dalam limbah pemukiman; dan (ii) memelihara suhu proses yang cocok bagi konsorsium mikroba termofilik, sehingga penguraian berjalan lebih sempurna dan cepat.

1.4. Kegunaan

Penelitian ini akan memberi manfaat, yaitu :

- 1) Upaya sanitasi dan penyehatan lingkungan di tengah-tengah makin rumitnya penanganan sampah pemukiman;
- 2) Menurunkan biaya operasional penanganan sampah kota, seperti : operasional petugas dan armada sampah; penyediaan dan pemeliharaan sarana/prasarana TPA, dll.; dan
- 3) Substitusi pupuk buatan oleh tersedianya pupuk organik, pengendalian gas metana tidak lepas ke udara, serta penyiapan energi alternatif yang akan menumbuhkan kepercayaan masyarakat terhadap produksi energi secara mandiri bersumber dari bahan yang tersedia lokal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakterisasi Limbah Pemukiman

Karakterisasi sampel limbah pemukiman dilakukan dengan pemilahan dan penimbangan masing-masing komponen berdasarkan susunan kimianya. Hasil penimbangan setiap komponen seperti tersaji pada Tabel 2. Ternyata sampah makanan merupakan komponen tertinggi (50,19 %) dalam limbah pemukiman, lalu diikuti oleh plastik, dan bahan-bahan berbasis selulosa seperti kertas dan kardus.

Tabel 1. Komposisi limbah pemukiman (Rahmat *et al.*, 2014).

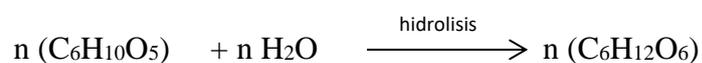
Komponen	Bobot (kg)	Persentase (%)
Sampah makanan	6,75	50,19
Plastik	4,40	32,71
Kertas, kardus dan kayu	2,20	16,37
Logam	0,10	0,74
Total	13,45	100,00

Kondisi ini menarik untuk dipelajari lebih jauh mengingat karakteristik sampah makanan ini adalah : (i) memiliki kontribusi terbesar terhadap akumulasi volume sampah domestik di semua level, baik di rumah, TPS, hingga TPA; (ii) penurunan volumenya benar-benar tergantung kepada dekomposisi, karena bukan merupakan bahan yang dipulung untuk didaur-ulang; dan (iii) dekomposisinya perlu waktu sehingga sering menjadi masalah pencemaran lingkungan.

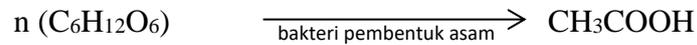
2.2. Digester Biogas

2.2.1. Proses Penguraian Anaerob

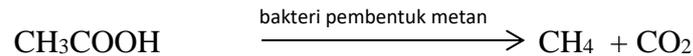
Menurut Sagagi *et al.* (2009) penguraian anaerob terdiri dari proses tiga tahap. Tahap pertama mikroorganisme menyerang bahan organik, yaitu senyawa organik kompleks seperti selulosa dan pati dikonversi menjadi senyawa organik kurang kompleks yang larut. Polimer berubah menjadi monomer larut melalui hidrolisis enzimatis.



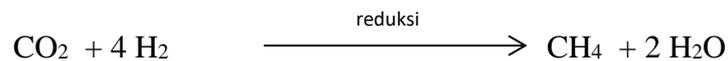
Monomer-monomer menjadi substrat bagi mikroorganisme pada tahap kedua, yang diubah menjadi asam organik oleh sekelompok bakteri.



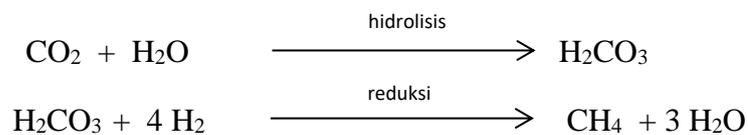
Asam organik ini terutama asam asetat adalah bentuk substrat untuk tahap ketiga.



Pada langkah ketiga, bakteri metanogen menghasilkan metana oleh dua rute, dengan memfermentasi asam asetat metana (CH_4) dan CO_2 dan dengan mereduksi CO_2 melalui gas hidrogen atau format yang dihasilkan oleh spesies bakteri lainnya.



Demikian pula CO_2 dapat dihidrolisis menjadi asam karbonat dan metana seperti dalam persamaan reaksi berikut:



2.2.2. Suhu dan pH Bahan Baku

Menurut Luostarinen *et al.* (2011) faktor suhu dan pH berpengaruh terhadap proses digesti anaerob (DA), yaitu : suhu mempengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup mikroorganisme. Mikroorganisme diklasifikasikan ke dalam kelas suhu sesuai dengan suhu optimumnya dan tingkat suhu ini kemudian digunakan dalam operasi digester biogas. Mikroorganisme psikhrofilik dan psikhrotoleran tumbuh pada suhu 0 hingga 20 °C. Mikroorganisme mesofilik memiliki suhu optimum 30 sampai 40 °C dan termofilik lebih dari 55 °C. Proses mesofilik dan termofilik adalah yang paling umum untuk mengurai bahan baku heterogen, seperti pupuk kandang, lumpur dan limbah biodegradabel berbagai produk samping dari kota dan industri.

Seadi *et al.* (2008) berpendapat bahwa interval pH optimum untuk digesti mesofilik adalah antara 6,5 dan 8,0 dan proses ini sangat terhambat jika nilai pH turun di bawah 6,0 atau naik di atas 8,3. Kelarutan karbon dioksida dalam air menurun dengan meningkatnya suhu. Nilai pH dalam digester termofilik karena itu lebih tinggi daripada yang mesofilik, maka karbon dioksida terlarut bereaksi dengan air membentuk asam karbonat. Nilai pH dapat meningkatkan oleh amonia, yang dihasilkan selama degradasi protein atau adanya amonia dalam pengisian. Sedangkan akumulasi *volatile fatty acid* (VFA) menurunkan nilai pH.

2.2.3. Jenis dan Praperlakuan Bahan Baku

Ertem (2011) mengemukakan bahwa, segala jenis biomassa yang mengandung karbohidrat, protein, lemak, selulosa sebagai komponen utama, maka dapat digunakan untuk bahan baku untuk menghasilkan biogas. Ketika memilih biomassa sebagai substrat, berikut informasi harus dipertimbangkan terlebih dahulu: substrat harus dipilih berdasar pada kandungannya, memiliki nilai nutrisi yang tinggi agar memberikan hasil biogas yang tinggi pula, substrat yang dipilih harus tanpa patogen, zat berbahaya harus dalam jumlah yang kecil, biogas hasil harus bermanfaat untuk aplikasi lebih lanjut, dan residu digesti harus berguna sebagai pupuk.

Awalnya DA terutama dalam pengolahan pupuk kandang hewan (sapi, babi, unggas) dan lumpur endapan instalasi pengolahan air limbah seara aerob. Namun, pada 1970-an meningkatnya kesadaran lingkungan serta tuntutan strategi baru pengelolaan sampah dan bentuk energi terbarukan, memperluas bidang aplikasi DA ke pengolahan limbah industri dan kota. Selain itu, konfigurasi digester tingkat tinggi dan perangkat kontrol proses yang canggih memungkinkan DA memasuki wilayah yang biasa didominasi oleh sistem aerob seperti pengolahan limbah industri yang mengandung COD rendah (Steffen *et al.*, 1998).

Montgomery dan Bochnan (2014) mengemukakan bahwa, berbagai teknologi praperlakuan telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir untuk meningkatkan ketersediaan DA monosakarida dan molekul kecil lainnya dalam substrat biogas, terutama dalam bahan lignoselulosa. Teknologi praperlakuan ini

bertujuan untuk: membuat DA lebih cepat, meningkatkan hasil biogas, memanfaatkan substrat baru dan atau yang tersedia lokal, dan mencegah masalah pemrosesan seperti persyaratan listrik yang tinggi untuk pencampuran atau pemisahan.

2.2.4. Komponen Digester Biogas

Komponen digester biogas mengambil contoh desain digester biogas tipe kubah tetap (*fixed dome*) seperti yang diuraikan oleh Ghimire (2005); dan Mears dan Anderson (2011) terdiri dari: bak pemasukan bahan, tangki digester, pipa gas, saluran keluar digestat, dan penampung pupuk.

2.2. Aplikasi Teknologi Biogas dalam Pengolahan Limbah Pemukiman

Penanganan sampah harus mulai disadari menjadi bagian tanggungjawab setiap warga masyarakat, sehingga penanganan sampah konvensional "buang-ambil-angkut-buang". Cara ini sering menimbulkan masalah penumpukan sampah bila kapasitas petugas dan armada tidak memadai, maka cara ini harus dikurangi bahkan dihilangkan.

Luostarinen *et al.* (2011) mengemukakan bahwa, meningkatnya penggunaan teknologi biogas di seluruh dunia karena tuntutan daur-ulang limbah dan pengurangan emisi gas metana yang berbahaya, dan produksi energi terbarukan. Teknologi biogas memberi solusi multiguna untuk semua masalah tersebut dengan proses secara simultan dan terkendali. Proses ini menghasilkan : (i) biogas, yaitu gas kaya metana yang dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan untuk berbagai keperluan; dan (ii) residu atau digestat adalah campuran senyawa yang kaya nutrisi bagi tanaman.

Kebijakan pengelolaan sampah di Indonesia selama lebih dari tiga tigapuluh tahun hanya bertumpu pada pendekatan kumpul-angkut-buang yang mengandalkan keberadaan tempat pembuangan akhir (TPA), maka dengan terbitnya Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008, kebijakan itu diubah dengan pendekatan *reduce at source* dan *resource recycle* melalui penerapan 3R (*reuse, recycle, reduce*). Oleh karena itu seluruh lapisan masyarakat diharapkan mengubah pandangan dan

memperlakukan sampah sebagai sumber daya alternatif yang sejauh mungkin dimanfaatkan kembali, baik secara langsung, proses daur-ulang, maupun proses lainnya.

Lebih lanjut, Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 mengatur, bahwa penanganan sampah terdiri lima tahap, yaitu : pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pemrosesan akhir sampah dilakukan oleh seluruh lapisan masyarakat secara bertahap dan terencana, serta didasarkan pada kebijakan dan strategi yang jelas. Ketentuan ini bermaksud: (i) melindungi kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan; (ii) menekan resiko kecelakaan dan bencana dalam pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenisnya; serta (iii) mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

Teknologi biogas yang telah ada umumnya masih berbasis proses digesti anaerob yang melibatkan konsorsium mikroba psikhrofilik yang bekerja pada suhu 20 hingga 30 °C. Teknologi ini belum memadai untuk mengolah limbah organik pemukiman, terutama kesulitan penguraian senyawa kompleks seperti hemiselulosa dan selulosa. Kendala ini berakibat rendahnya produktivitas biogas dan digestat; kompos masih mentah, terjadi sedimentasi, penyumbatan, dan gagalnya proses.

Gagasan kreatif penelitian yang ditawarkan, ialah:

- a. Merancang-bangun proses yang dapat menjamin : (i) konsorsium mikroba bekerja secara termofilik (55-60 °C) pada ruang pradigester ; dan (ii) konsorsium mikroba bekerja secara digesti anaerob (metagenesis) pada ruang digester utama.
- b. Merancang-bangun instalasi digester atau reaktor yang fasilitasi dua proses berurutan, yaitu: digesti termofilik dan digesti anaerob.
- c. Tiga tahapan penelitian, yaitu: (i) rancang-bangun perangkat digester skala laboratorium; (ii) rancang-bangun digester skala unit pemukiman; (iii) analisis kelayakan teknis dan finansial penerapan instalasi pada suatu unit pemukiman.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Rancang-Bangun Digester Biogas Termofilik

3.1.1. Proses Perancangan Digester



Gambar 1. Diagram Alir Proses Rancang-bangun Digester

3.1.2. Rancangan Fungsional

Komponen fungsional dari sebuah digester termofilik terdiri dari beberapa bagian adalah : mixer, tangki pencampur awal, tangki pradigester, pemanas air surya, tangki digester utama, dan penampung digestat.

1) Mixer

Mixer atau pulper berfungsi merajang limbah padat dan mencampur dengan bagian lunak menjadi campuran yang homogen. Bagian ini bekerja mirip blender dapur untuk membuat adonan bumbu. Mixer bekerja dengan daya motor listrik sesuai kebutuhan.

2) Tangki pencampur awal

Tangki pencampur awal merupakan tempat awal penambahan air panas untuk menciptakan suhu yang cocok untuk bekerja konsorsium mikroba termofilik (55-60 °C) dan membentuk sehingga adukan (*slurry*) dengan perbandingan 1:1.

3) Tangki pradigester

Tangki pradigester berfungsi melaksanakan proses digesti termofilik sehingga suhu tetap terpelihara pada kisaran 55 hingga 60 °C selama waktu proses yang akan ditetapkan dalam percobaan skala laboratorium (Subbab 3.2 dst.).

4) Pemanas air

Komponen pemanas ini berfungsi untuk memanaskan air yang dibutuhkan untuk mencampur limbah yang telah dimuat ke tangki pencampur awal. Volume air yang dibutuhkan setiap adukan sebanding dengan volume limbah yang telah diblender.

5) Tangki digester utama

Tangki digester utama berfungsi untuk menjamin berlangsungnya digesti anaerobik terhadap adukan masuk dari tangki pradigester yang melibatkan mikroba metanogen yang bekerja efisien pada kisaran suhu 20-30 °C. Tangki ini bisa bekerja pada kondisi ambient Kota Tasikmalaya.

6) Penampung hasil

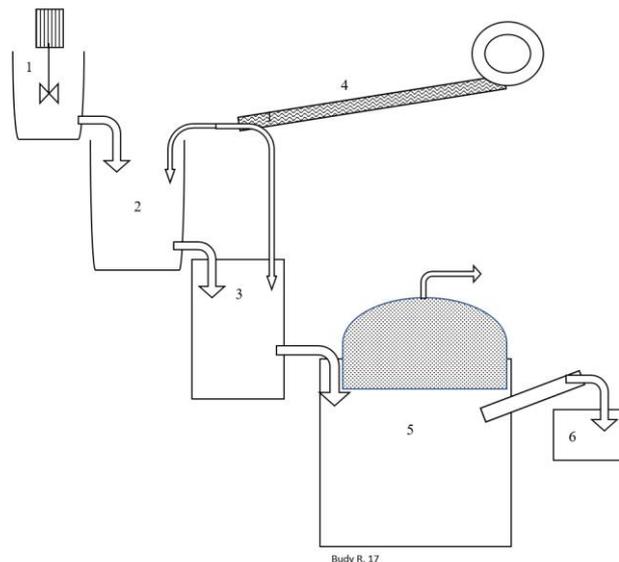
Bagian berbentuk bak atau sumur ini berfungsi untuk menampung digestat dan pengendap kompos yang keluar dari tangki digester. Posisinya diusahakan lebih rendah dari tangki digester untuk memudahkan pengaliran.

3.1.3. Rancangan Struktural

Analisis rancangan instalasi digester dibuat pada Tahun I adalah berskala kapasitas proses 10 liter (L). Rancangan struktural digester termofilik terdiri dari: (1) blender dengan daya 1kW perajang bahan limbah padat ; (2) bejana stainless steel berukuran diameter 25 cm x tinggi 70 cm sebagai tangki pencampur awal; (3)

bejana stainless steel berukuran diameter 25 cm x tinggi 70 cm sebagai tangki pradigester; (4) pemanas listrik 1kW digunakan sebagai pemanas air ; (5) bejana stainless steel berukuran diameter 50 cm x tinggi 120 cm sebagai tangki digester utama; dan (6) bejana stainless steel sebagai berukuran diameter 20 cm x tinggi 50 cm sebagai penampung digestat.

3.1.4. *Layout* Rangkaian Instalasi Digester Termofilik



Gambar 2. Tata letak komponen instalasi Digester Termofilik

Keterangan : 1. Mixer dengan daya 1 HP; 2. Tangki pencampur awal; 3. Tangki Pradigester; 4. Pemanas air surya; 5. Tangki digester utama (6 m³); 6. Penampung digestat

3.2. Pelaksanaan Percobaan

3.2.1. Waktu dan Tempat

Percobaan ini akan dilaksanakan di Laboratorium Kimia, Biologi dan Fisika di lingkungan Universitas Siliwangi Tasikmalaya. Pengambilan sampel limbah sayur dan buah dari Pasar Induk Cikurubuk. Sampel limbah pasar adalah hasil pertanian yang biasa dikumpul tempat pembuangan sampah sementara (TPS) stempat.

Pelaksanaan penelitian ini secara keseluruhan direncanakan dimulai 01 April 2018 hingga 30 September 2018.

3.2.2. Waktu dan Tempat

Pelaksanaan penelitian tahun pertama direncanakan dimulai 01 April 2018 hingga 30 September 2020 (Jadwal pada Bab 4). Tema penelitian untuk setiap tahun adalah: Tahun 2018 : Rancang-bangun digester skala laboratorium ; Tahun 2019: Rancang-bangun digester skala uni pemukiman; dan Tahun 2020 analisis kelayakan teknis dan finansial penerapan digester skala pemukiman.

3.2.3. Bahan dan Alat

Limbah pemukiman di ambil dari TPS Perumahan Cikunten Indah, Kelurahan Kahuripan Kota Tasikmalaya. Limbah dikelompokkan setiap jenis, yaitu : limbah organik (sisa makanan, limbah bahan makanan, kertas, karton, dsb.), plastik, dan logam. Limbah organik adalah bahan untuk bahan baku digesti termofilik. Sedangkan alat yang digunakan instalasi digester, ember, drum, kompor elpiji, dan elemen pemanas listrik. Selain itu, peralatan umum laboratorium seperti: gelas ukur, timbangan elektrik, pH meter dll. Peralatan penunjang meliputi: ember, sarung tangan, meteran, dll.

3.2.4. Rancangan Percobaan

Pada tahap percobaan ini, digunakan rancangan deskriptif, yaitu perlakuan terbaik ditentukan berdasarkan rata-rata kinerjanya.

3.2.5. Pengamatan

(1) Karakterisasi limbah pasar

Karakterisasi limbah yang terkumpul dilakukan pemisahan dan penimbangan masing-masing komponen, meliputi : kertas, plastik, sisa makanan, pasir, kaleng, nilon, dan lainnya.

(2) pH Substrat dalam Digester.

pH substrat ialah pH sampel diambil dan diukur pada seminggu sekali.

(3) *Total Solids* (TS)

TS ialah banyaknya zat padat organik dan anorganik dalam air yang ditentukan dengan dianalisis penimbangan dan pemanasan /penguapan lalu dihitung dengan rumus :

$$TS \text{ (mg/L)} = \frac{\text{berat setelah } 103^{\circ}\text{C (mg)} - \text{berat cawan awal (mg)}}{\text{Volume Sampel (mL)}}$$

(4) Volume Biogas.

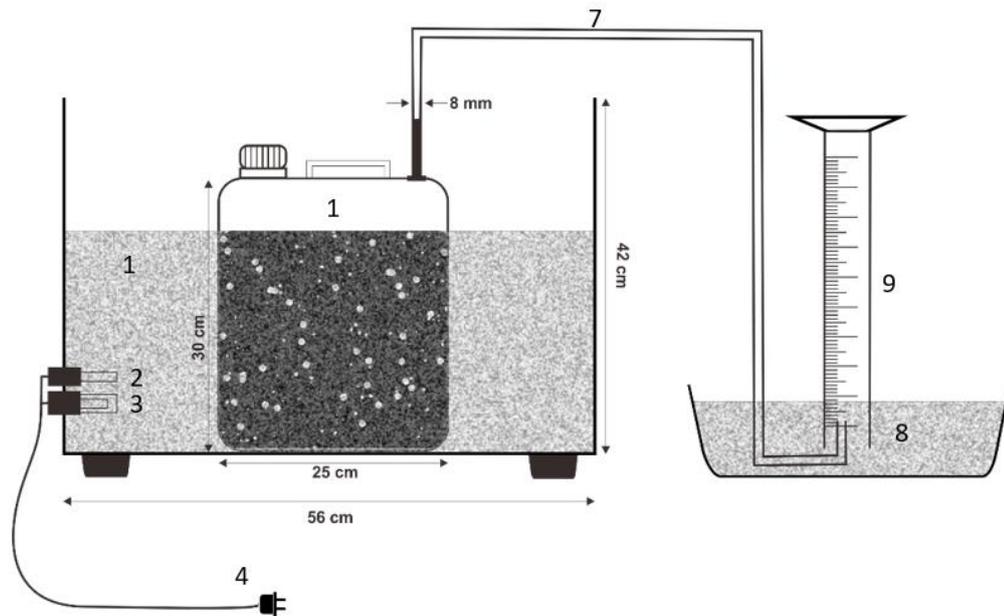
Volume biogas ialah banyaknya biogas yang tertampung dan diukur pada 1, 2, 3, dan 4 minggu setelah setelah inkubasi.

(5) Volume Residu.

Volume residu ialah cairan yang keluar (efluen) sebagai hasil digesti yang dianggap memenuhi syarat digunakan sebagai pupuk cair.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Rancangan-Bangun Digester Termofilik



Gambar 3. Desain Digester Biogas

Keterangan : 1. Penangas air; 2. Termostat; 3. Pemananas elektrik; 4. Sumber listrik AC; 5. Substrat; 6. Jerrycan sebagai Digester; 7. Pipa saluran biogas; 8. Kontainer berisi air penyekat; 9. Gelas ukur penampung biogas.

4.2. Uji Kinerja Digester Termofilik

1) Produksi Biogas Harian

Tabel 2. Produksi biogas harian pada setiap digester termofilik

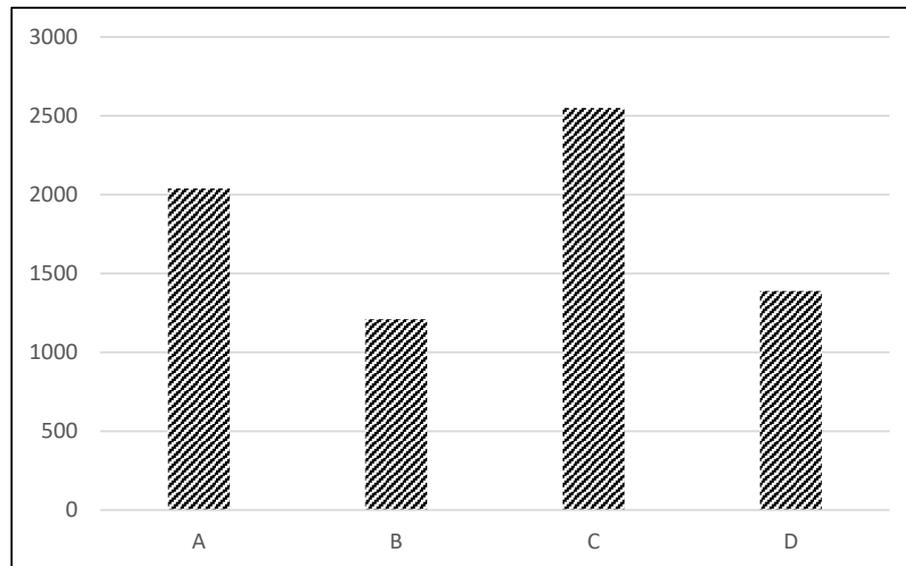
HSI*	Digester A		Digester B		Digester C		Digester D	
	pH	Biogas (mL)						
0		0		0		0		0
1	4	570	4	270	4	660	4	450
2	4	1000	4	630	4	1600	4	560
3	4	470	4	310	4	290	4	380
4	4	0	4	0	4	0	4	0
5	4	0	4	0	4	0	4	0
6	4	0	4	0	4	0	4	0
7	4	0	4	0	4	0	4	0
Jumlah		2.040		1.210		2.550		1.390

* HSI : hari setelah inkubasi

Biogas harian menghasilkan volume dari empat perlakuan yang berbeda, hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Bahan baku dari semua perlakuan mengandung senyawa organik yang mudah terhidrolisis seperti gula, asam lemak, dan asam amino, yang dapat dengan cepat dikonversi menjadi biogas dan gas lain, dan memuncak setelah 2 hari pencernaan, dimana biogas tertinggi dihasilkan oleh perlakuan C, kemudian diikuti oleh perlakuan A, B dan D.

Perlakuan C memiliki rasio C/N yang lebih cocok sebagai substrat untuk proses digesti anaerob. Digesti anaerobik limbah dalam batch digester dilakukan pada 37 °C, dengan pH awal 6-7 tidak terkendali, terbukti bahwa rasio C/N optimal dari limbah berada pada kisaran 9 hingga 50. Intervalnya adalah jauh lebih luas daripada yang biasanya dianggap optimal dalam kisaran 20-30 (Guarino et al. 2016).

2) Produksi Biogas Total



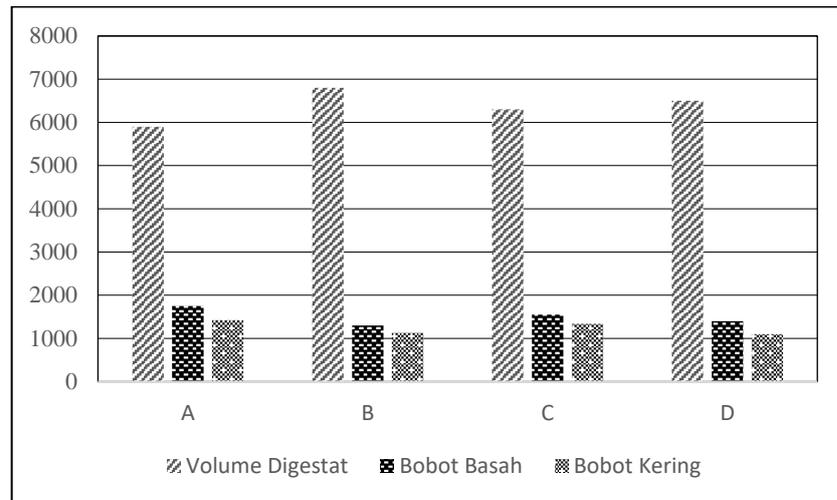
Gambar 4. Produksi biogas total dari Digester A,B,C, dan D

Gambar 4 menunjukkan bahwa total produksi biogas per 8 L substrat yang diproses selama 7 hari waktu retensi dalam seri adalah: B (6.050 cm³), D (6.950 cm³), A (10.200 cm³), dan C (12.750 cm³). Produksi tertinggi dalam perlakuan C adalah karena kondisi substrat dengan pH dan rasio C / N mendekati nilai optimal. Kondisi optimal untuk asidogenesis dan metanogenesis pada kisaran pH 6,4 hingga 7,2, sedangkan untuk proses digesti anaerob dalam kisaran C/N 20 hingga 30 (Wang et al. 2014; Guarino et al. 2016).

3) Komposisi Hasil Digesti

Tabel 3. Komposisi hasil Digesti Termofilik pada empat substrat

Digester	Volume Digestat (mL)	Bobot Endapan Basah (g)	Bobot Endapan Kering (g)
A	5.900	1.750	1.420,30
B	6.800	1.300	1.130,09
C	6.300	1.550	1.337,96
D	6.500	1.400	1.098,58



Gambar 5. Komposisi hasil Digesti Termofilik pada empat substrat

Limbah pepaya menghasilkan volume digesti tertinggi dan diikuti oleh penurunan dengan campuran limbah pisang-pepaya (1: 1), limbah pisang - limbah pepaya (1,5: 1), dan limbah pisang. Perbedaan dalam jumlah hasil digestat adalah karena kadar air dari limbah pepaya lebih tinggi dari yang lain. Sebaliknya, berat kompos kering tertinggi dihasilkan oleh limbah pisang dan diikuti oleh penurunan dengan campuran limbah pisang-limbah pepaya (1,5: 1), limbah pepaya, dan campuran limbah pisang-limbah pepaya (1: 1). Kondisi ini dapat dijelaskan bahwa, jumlah berat kompos kering, sebagai padatan-biomassa padat adalah konstitutif terhadap jumlah digestat.



Gambar 6. Pupuk organik cair dari Digestat biogas

Keterangan : 1. Penyaringan digestat ; 2. Aplikasi digestat sebagai pupuk cair an

Tabel 4. Pengaruh Digestat terhadap Pertumbuhan Tanaman Bayam

Perlakuan	Tinggi Batang (cm)	Bobot Tanaman(g)
A' (DC limbah pisang)	18,86 d	44,97 d
B' (DC limbah pepaya	15,61 b	33,50 b
C' (DC limbah pisang + pepaya 1:1)	15,76 b	35,67 b
D' (DC limbah pisang + pepaya1,5:1)	18,41 c	38,78 c
E (air tanpa DC sebagai kontrol)	14,32 a	26,92 a

Tabel 3 menunjukkan bahwa semua perlakuan memberikan tingkat pertumbuhan bayam tanah yang berbeda dari kontrol. Pertumbuhan tertinggi dicapai dengan perlakuan pupuk organik cair yang berasal dari pisang digestat cair (DC) diikuti oleh penurunan digestate dari campuran pisang-pepaya (1,5: 1), campuran pisang-pepaya (1: 1), dan pepaya dicerna. Kondisi ini dapat dijelaskan, bahwa perlakuan DC sebagai pupuk organik cair mampu memberikan pasokan nutrisi yang lebih baik untuk tanaman bayam tanah. Intisari adalah kadar pH, NH₃ / NH₄, dan unsur logam, terutama Cu, Zn dan Mn lebih tinggi dari kotoran ternak. Digestate mungkin memiliki komposisi makronutrien N, P dan K yang tidak optimal untuk kebutuhan pertumbuhan tanaman, tetapi variasi kandungan P dan K berada dalam kisaran yang sesuai untuk produksi tanaman (Sogn et al. 2018).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil percobaan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Digester termofilik mampu memfasilitasi kinerja konsorsium bakteri bekerja pada proses digesti termofilik aerob, sehingga dapat mengurai limbah pisang, pepaya, dan campuran pisang-pepaya dapat mempersingkat waktu digesti menjadi 3 hari.
- 2) Hasil penguraian setiap 4 kg limbah pisang, limbah pepaya, campuran limbah pisang-pepaya 1: 1, dan campuran limbah pisang-pepaya 1.5: 1 masing-masing menghasilkan biogas berturut-turut 10.200 cm³, 6,050 cm³, 12,750 cm³, dan 6.950 cm³.
- 3) Selanjutnya, setiap 4 kg limbah pisang, limbah pepaya, campuran limbah pisang-pepaya 1:1, dan campuran limbah pisang-pepaya 1,5:1 masing-masing menghasilkan digestat cair 5.900 mL, 6.800 mL, 6.300 mL, dan 6.500 mL; juga menghasilkan kompos kering 1.420 g, 1.130 g, 1.337 g dan 1.098.58 g, masing-masing.

7.2. Saran

- 1) Konsorsium bakteri dapat bekerja pada proses digesti termofilik aerob, sehingga dapat mengurai limbah pisang, pepaya, dan campuran pisang-pepaya
- 2) Perlu dicari sumber inokulum bakteri termofilik yang lain

DAFTAR PUSTAKA

- Azlina , A.G., and Idris, A., 2009. Preliminary Study on Biogas Production from Municipal Solid Waste (MSW) Leachate. *Journal of Engineering Science and Technology*, 4 (4): 374 - 380.
- Brown, M.R., Chesbro, W., Mule, R., 2008. Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste. California Environmental Protection Agency, USA
- Ertem, F.C., 2011. *Improving Biogas Production by Anaerobic Digestion of Different Substrates*. Master Thesis in Appl. Environ. Sci. Hamstad University.
- Ghimire, P.C., 2005. *Technical Study of Biogas Plants Installed in Bangladesh*. National Program on Domestic Biogas in Bangladesh.
- Guarino G, Carotenutoa C, Cristofaroa F, Papab S, Morronea B, and Minale M (2016) Does the C/N ratio really affect the bio-methane yield? *Chem Eng Trans* 49:463-468.
<https://doi.org/10.3303/CET1649078>
- Kale dan Mehetre, 2002. *Biogas Plant Based on Kitchen Waste*. Nuclear Agriculture and Biotechnology Division. Tersedia di www.barc.gov.in/nl/2002/200201/pdf Diakses 21 Maret 2017.
- Kastaman, R.. 2004. *Ekonomi Teknik untuk Pengembangan Kewirausahaan Bandung* : Pustaka Giratuna – Educ. and Local Res. Empow. Cen. Unpad
- Kementerian Pertanian RI, 2014. Kebijakan Pembangunan Pertanian dan Pengembangan Kawasan. Diakses 12 Desember 2014 , Tersedia di <http://www.pertanian.go.id/eplanning/pdf>.
- Luostarinen, S., Normak, A., and Edström, M., 2011. *Overview of Biogas Technology*. Knowledge Report. Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management.
- Mears, E.T., and Anderson, R.H., 2011. Biogas Plant Construction Manual Fixed-dome Digester: 4 to 20 Cubic Meters. *Biogas Plant Construction Manual*: 1-24. US Forces – Afghanistan, Joint Engineer Directorate.
- Montgomery, L.F.R., and Bochmann, G., 2014, *Pretreatment of Feedstock for Enhanced Biogas Production*. IEA Bioenergy.
- Nair, J., 2010. *Small Scale Biogas plants for the treatment of Food Waste* Final Report Submitted to the Waste Management Board on the completion of Contract, Environmental Sci., Murdoch University
- Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012. Tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sejenisnya
- Rahmat, B., Rudi Priyadi, and Purwati Kuswarini, 2014. Effectiveness of

- Anaerobic Digestion on Reducing Municipal Waste. *International Journal of Science and Technology Research*, 3(3):98-101. Tersedia di <http://www.ijstr.org/final-print/.pdf>. Diakses 02 April 2014.
- Sagagi, B. S., Garba, B., and Usman, N. S., 2009. Studies on Biogas Production. From Fruits and Vegetable Waste. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 2(1): 115 - 118.
- Sadi, T.A., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R., 2008. *Biogas Handbook*. University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark. Tersedia di <http://lemvigbiogas.com/>. Diakses 16 Juli 2014.
- Sogn TA, Dragicevic I, Linjordet R, Krogstad T, Eijsink VGH, Eich-Greatorex S (2018) Recycling of biogas digestates in plant production: NPK fertilizer value and risk of leaching. *Int J of Recyc of Organic Waste in Agric* 7:49–58. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0188-0>
- Steffen, R., Szolar, O. and Braun, R. 1998. *Feedstocks for Anaerobic Digestion*. Institute for Agrobiotechnology Tulln, University of Agricultural Sciences Vienna.
- Stucki, M., Jungbluth, N., and Leuenberger, M., 2011. *Life Cycle Assessment of Biogas Production from Different Substrates*. Eidgenössisches Depart.für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. Schlussbericht, Suisse.
- Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah.
- United Nations, 1998. *Kyoto Protocol to The United Nation Framework Convention on Climate Change*. Diakses 20 Maret 2015. Tersedia di <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- Wang X, Lu X, Li F, and Yang G (2014) Effects of Temperature and Carbon-Nitrogen (C/N) Ratio on the Performance of Anaerobic Co-Digestion of Dairy Manure, Chicken Manure and Rice Straw: Focusing on Ammonia Inhibition. *Plos J* 9: e97265. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097265>
- Widodo, T.W., Asari, A., Ana N., dan Elita R., 2009. Design and Development of Biogas Reactor for Farmer Group Scale. *Indonesian Journal of Agriculture*, 2(2): 121-128
- Zhang, R., Gekas, P., Zhu, B., Lord, J. Chaote, C., 2014. *Biogas Production from Municipal Organic Solid Wastes*. University of California.

