

**LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN HIBAH KOMPETENSI  
TAHUN ANGGARAN 2012  
Tahun ke-3 dari 3 Tahun**



**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI BIOCODIGESTER  
ANAEROBIK UNTUK PERCEPATAN PRODUKSI BIOGAS  
DARI LIMBAH TAPIOKA DAN LIMBAH PETERNAKAN**

**Nama:**

**Prof. Dr. Ir. Sunarso, MS (Ketua) NIDN : 0020055205  
Dr. Siswo Sumardiono, ST, MT (Anggota) NIDN : 0015097503**

**Dibiayai Oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen  
Pendidikan Nasional sesuai Surat Penugasan Pelaksanaan  
NO: 009/SP2H/PL/Dit.Litabmas/III/2012 tanggal 7 Maret 2012**

**UNIVERSITAS DIPONEGORO  
DESEMBER 2012**

**LEMBAR PENGESAHAN  
HIBAH KOMPETENSI  
TAHUN ANGGARAN 2012**

- |                      |   |   |
|----------------------|---|---|
| 1. Judul Kegiatan    | : | Pengembangan Teknologi Biocodigester Anaerobik untuk Percepatan Produksi Biogas dari Limbah Tapioka dan Limbah Peternakan |
| 2. Peneliti Utama    | : | Prof. Dr. Ir. Sunarso, MS   |
| 3. NIP/NIDN          | : | 195205201980031002/0020055205   |
| 4. Jenis Kelamin     | : | Laki-laki   |
| 5. Unit Kerja        | : | Fakultas Peternakan dan Pertanian   |
| 6. Alamat Unit Kerja | : | Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, 50239  |
| No. Telepon/Faks     | : | 024-7460806 /024-7474750  |
| 7. Alamat Rumah      | : | Jl. Merbabu 13, Rumdin BPTP Ungaran, 50517  |
| No. Telepon/Faks     | : | (024) 474750  |
| 8. Alamat E-mail     | : | sunarso_undip@yahoo.com   |
| 9. Telp Seluler      | : | 0816654393  |
| 10. Lamanya Riset    | : | 9 (Sembilan) bulan  |
| 11. Tahun Anggaran   | : | Tahun 2012  |
| 12. Anggaran         | : | Rp. 85.000.000,- (Delapan Puluh Lima Juta Rupiah)   |

Semarang, Desember 2012

Mengetahui:  
Ketua LPPM UNDIP

Ketua Tim Peneliti,

**Prof. Drs. Imam Ghozali, M.Com.,Akt., PhD**  
**NIP. 19580816 198603 1002**

**Prof. Dr. Ir. Sunarso, MS**  
**NIP.19520520 198003 1002**

Menyetujui :  
An. Pimpinan Universitas Diponegoro  
Pembantu Rektor I

**(Prof. Dr. dr. Hertanto Wahyu S, MS., SpGK)**  
**NIP. 19540220 198001 1 001**

## 1. Ringkasan

Pertumbuhan populasi Indonesia yang sangat cepat menimbulkan beberapa isu penting masalah pangan, energi, lingkungan dan air. Sebagai negara agraris Indonesia merupakan penghasil ubi kayu terbesar ke-3 dunia setelah Brazil dan Thailand. Sebagian besar ubi kayu dimanfaatkan untuk produksi tapioka yang membutuhkan proses panjang yaitu pemotongan pongkol, pengupasan kulit, pamarutan, ekstraksi pati dan pengendapan. Proses ekstraksi tapioka membutuhkan air  $\pm 4 \text{ m}^3/\text{ton}$  ubi kayu. Sentra produksi tapioka di Jawa Tengah berada di kabupaten Pati didukung oleh 399 IKM dengan kapasitas produksi 3.990 ton/hari dan kebutuhan air untuk ekstraksi mencapai  $15.960 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Kandungan tapioka yang masih terikut di air limbah masih cukup tinggi sebesar  $\pm 1\%$  berat limbah atau dengan kisaran kandungan bahan organik (*Chemical Oxygen Demand, COD*)  $\pm 12.000 \text{ ppm}$ . Tapioka terikut ini tidak di-*recovery*, namun langsung dibuang ke perairan yang sangat berpotensi mencemari lingkungan. Apabila dikonversi menjadi biogas, total biogas yang dihasilkan bisa mencapai  $47.880 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Namun rasio C dan N yang sangat tinggi (karena kandungan N sangat rendah) membuat produksi biogas tidak optimum sehingga perlu penambahan sumber nitrogen. Limbah peternakan dengan kandungan N yang tinggi merupakan salah satu alternatif sumber nitrogen. Kombinasi dua bahan baku ini bisa menghasilkan rasio C dan N sebesar 25 untuk produksi biogas di dalam biocodigester anaerobik.

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem baru produksi biogas dari limbah industri tapioka dan limbah peternakan dalam sistem biocodigester. Kebaruan dan keunggulan dari sistem yang dikembangkan ini antara lain: i) sistem menghasilkan biogas dalam waktu yang sangat singkat dengan produksi tiga kali lipat dibandingkan sistem konvensional untuk jangka waktu yang sama, ii) sistem biocodigester bisa dioperasikan secara satu tahap maupun dua tahap (tahap hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan tahap metanogenesis) untuk memudahkan pengendalian kondisi operasi dan iii) sistem dapat beroperasi secara kontinyu sehingga laju produksi biogas persatuan volume tinggi yang berimplikasi pada penurunan volume biocodigester. Untuk mendapatkan pemahaman karakteristik proses yang fundamental dan komprehensif, penelitian ini akan difokuskan pada lima parameter kunci yang sangat mempengaruhi dalam membuat desain dan uji kelayakan teknologi hasil temuan yaitu: i) konsentrasi padatan (*slurry*), ii) faktor pengadukan yang berimplikasi pada homogenitas dalam biocodigester, iii) pengendalian tingkat keasaman (pH) dalam biocodigester yang berimplikasi pada laju produksi biogas, iv) pengoperasian baik secara satu atau dua tahap yang berimplikasi pada kemudahan pengendalian parameter operasi, dan v) waktu tinggal dalam biocodigester yang mencerminkan tingkat kesempurnaan degradasi material untuk produksi biogas.

Untuk mendapatkan tahapan riset yang runtut dengan hasil/kemajuan yang ditargetkan, riset ini dirancang sebagai berikut: Tahun pertama difokuskan pada kajian aspek-aspek: desain dan pabrikasi prototipe sistem kapasitas 50 liter serta uji stabilitasnya dan data-data laju produksi biogas akan dikaji sebagai pengaruh parameter operasi seperti temperatur, pH, konsentrasi padatan, pengadukan, dan waktu tinggal reaksi terhadap kinerja Biocodigester. Tahun kedua, riset akan difokuskan pada aspek: desain dan pabrikasi prototipe sistem Biocodigester dua tahap kapasitas 50 liter serta uji stabilitasnya. Dua tahap dimaksudkan untuk memisahkan tahap hidrolisis-asidogenesis dan asetogenesis-metanogenesis serta pengembangan model teoritik dan simulasi numerik pengaruh parameter intrinsik terhadap karakteristik proses produksi biogas. Tahun ketiga, riset akan difokuskan pada aspek: desain dan pabrikasi pilot plant sistem biocodigester kapasitas skala rumah tangga  $5 \text{ m}^3$  serta uji stabilitas sistemnya untuk mendapatkan data-data laju produksi biogas serta studi preliminari desain untuk produksi biogas skala industri kapasitas  $100 \text{ m}^3$  air limbah tapioka per hari.

Keseluruhan tahap penelitian ini akan memberikan tiga luaran terukur sebagai kontribusi yaitu: (a) buku ajar "Produksi Biogas dari Limbah Industri Tapioka dan Limbah Peternakan", (b) satu draf usulan paten "Biocodigester Anaerobik Untuk Percepatan Produksi Biogas dari Limbah Industri Tapioka dan Limbah Peternakan" (c) dua publikasi nasional terakreditasi dan dua publikasi jurnal internasional. Rencana judul-judul artikel yang akan dipublikasikan adalah sebagai berikut :

- A Novel Anaerobic Biocodigester System for Enhancing Biogas Production from Cassava Starch Effluent and Animal Waste.
- Effect of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  Buffer and Number of Stage on Anaerobic Codigestion to Produce Biogas from Cassava Starch Effluent and Animal Waste.
- Studi of Parameters for Biogas Production by Anaerobic Codigestion: Temperature, Slurry Concentration, pH, and Ratio Waste.
- Preliminary Design of Anaerobic Biocodigester for Enhancing Biogas Production from Cassava Starch Effluent and Animal Waste: Detail Engineering and Economic Evaluation.

## 2. Pendahuluan

### 2.1. Latar Belakang

Pertumbuhan populasi Indonesia yang sangat cepat menimbulkan beberapa isu penting masalah pangan, energi, lingkungan dan air. Sebagai negara agraris Indonesia merupakan penghasil ubi kayu terbesar ke-3 dunia setelah Brazil dan Thailand dengan luas tanam 1.193.319 hektar dan produktivitas 21.593.053 ton/tahun ubi kayu [1]. Pemanfaatan ubi kayu sebagian besar untuk produksi tepung singkong dan tapioka. Produksi tapioka dari ubi kayu membutuhkan proses yang agak panjang karena melalui proses pemotongan pongkol, pengupasan kulit, pamarutan, ekstraksi pati dan pengendapan [2]. Proses ekstraksi tapioka membutuhkan air  $\pm 4 \text{ m}^3/\text{ton}$  ubi kayu. Sentra produksi tapioka di Jawa Tengah berada di kabupaten Pati khususnya di kecamatan Margoyoso yang didukung oleh 399 IKM dengan kapasitas produksi rata-rata 10 ton ubi kayu/IKM-hari. Keseluruhan kebutuhan ubi kayu di kecamatan Margoyoso adalah 3.990 ton/hari dengan kebutuhan air untuk proses ekstraksi diperkirakan mencapai  $15.960 \text{ m}^3/\text{hari}$  [3-4].



Gambar 1. Potensi tapioka yang terikut limbah cair dan terbuang ke perairan



Gambar 2. Tingkat pencemaran yang ditimbulkan limbah cair industri tapioka

Kandungan tapioka yang masih terikut di air limbah proses masih cukup tinggi sebesar  $\pm 1\%$  berat limbah atau dengan kisaran kandungan bahan organik (*Chemical Oxygen Demand, COD*)  $\pm 12.000 \text{ ppm}$  [3-4]. Total potensi tapioka yang dibuang ke perairan seperti terlihat pada Gambar 1 sebesar 159,6 ton/hari dengan nilai rupiah 271,32 juta/hari apabila dihargai sebagai produk kualitas III yaitu Rp. 1700/kg. Tapioka terikut ini tidak direcoveri, namun langsung dibuang ke perairan yang sangat berpotensi mencemari lingkungan seperti terlihat pada Gambar 2. Kerjasama antar pihak, IKM, PEMDA, PEMPROV, LITBANG DEPTAN dan Perguruan Tinggi sangat diharapkan untuk memecahkan masalah tersebut. Untuk pengolahan limbah tersebut harus melalui proses kimiawi koagulasi dan flokulasi [4]. Namun demikian produk hasil recoveri tidak bisa digunakan untuk produk-produk pangan dan alternatif yang potensial adalah dengan menjadikan sebagai bahan baku biogas. Apabila dikonversi menjadi biogas, total biogas

yang dihasilkan diperkirakan bisa mencapai 47.880 m<sup>3</sup>/hari [5]. Namun rasio C dan N yang sangat tinggi sebesar 86 [6] membuat produksi biogas dari limbah cair industri tapioka tidak optimum sehingga perlu penambahan nitrogen untuk mendapatkan rasio yang optimum yaitu 20-30 [7-8]. Limbah Peternakan mengandung rasio C dan N yang cukup tinggi yaitu pada kisaran 19 merupakan salah satu alternative sumber nitrogen yang bisa ditambahkan [9-10]. Kombinasi dua bahan baku ini bisa menghasilkan rasio C dan N yang cukup yaitu 25 untuk produksi biogas di dalam biocodigester anaerobik [11-12].

Teknologi biogas bukan merupakan teknologi yang baru dan teknologi ini sudah dikembangkan di Indonesia beberapa puluh tahun yang lalu [13-14]. Implementasi teknologi produksi biogas dari limbah cair industri tapioka juga sudah dilakukan banyak peneliti dalam beberapa dekade ini [6,11,15]. Namun produksi biogas dengan biocodigester yang memanfaatkan limbah cair industri tapioka dan limbah peternakan dengan biokatalis bakteri rumen merupakan terobosan dan kebaruan dari kegiatan ini. Proses produksi biogas dari berbagai bahan organik secara anaerobik di dalam biodigester anaerobik melibatkan sejumlah bakteri yang bekerja secara simultan melalui beberapa tahap reaksi biokimia yaitu Hidrolisis, Acidogenesis, Acetogenesis, dan Metanogenesis [13]. Di antara 4 (empat) kelompok bakteri tersebut, bakteri pembentuk metana (komponen utama biogas) mempunyai laju pertumbuhan paling lambat. Oleh karena itu, keberadaan bakteri ini merupakan faktor paling menentukan yang mengendalikan laju produksi biogas secara keseluruhan.

Oleh karena itu, perkembangan teknologi produksi biogas yang ada pada saat ini didominasi oleh upaya bagaimana agar bisa meningkatkan konsentrasi dan waktu tinggal mikroba di dalam biodigester untuk meningkatkan laju produksi biogas [10, 16-27]. Dari kombinasi limbah tapioka, limbah peternakan dan biokatalis bakteri rumen dapat diprediksi akan mampu menghasilkan biogas dalam waktu satu hari dengan laju produksi tiga lipat dibandingkan teknologi konvensional. Permasalahan utama produksi biogas dari limbah cair industri tapioka adalah bahwa proses hidrolisis dan asidogenesis terjadi sangat cepat sehingga terjadi penurunan keasaman yang sangat signifikan dan menyebabkan pertumbuhan bakteri metanogenesis terhambat bahkan bisa berhenti [6,11,15]

## 2.2. Roadmap Kegiatan

Prof. Dr. Ir. Sunarso, MS sebagai ketua peneliti dalam dua dekade terakhir sangat konsisten menekuni bidang keahlian **Teknologi Pakan Ternak Ruminansia dan Teknologi Biogas**. Teknologi produksi biogas merupakan bidang ilmu yang sangat luas aplikasinya, bidang yang ditekuni peneliti fokus pada aplikasi teknologi biogas dari limbah ternak ruminansia. Sejak dua dekade, riset yang terus dikembangkan adalah :

- a. Pengembangan dan aplikasi teknologi pakan ternak ruminansia berupa *complete feed* telah memberikan kontribusi yang signifikan baik secara kajian fundamental komprehensif dan aplikasi industri. Hasil yang sudah dicapai sampai pada aplikasi skala industri yaitu kerjasama dengan investor untuk memenuhi kebutuhan pakan ternak ruminansia wilayah Semarang dan sekitarnya. Kontribusi terhadap keilmuan telah dihasilkan beberapa publikasi baik tingkat nasional maupun internasional [28-32].
- b. Pengembangan teknologi BioDALTi (Biodigester Anaerobik Laju Tinggi) dari limbah ternak ruminansia dalam beberapa tahun terakhir memberikan kontribusi yang sangat signifikan baik secara kajian fundamental keilmuan maupun aplikasi industri. BioDALTi mampu menghasilkan biogas dengan laju tiga kali lipat dibandingkan biogas konvensional yang sudah ada. Kontribusi mendasar secara kajian fundamental keilmuan telah dibuktikan dengan dipublikasikannya beberapa jurnal internasional, seminar internasional dan seminar nasional [16-27]. Sebagai landasan yuridis untuk aplikasi dalam skala komersial maka hasil riset tentang BioDALTi sudah menghasilkan satu pendaftaran paten melalui kantor HKI UNDIP.
- c. BioDALTi yang dikembangkan merupakan kegiatan riset yang telah mendapatkan dana-dana penelitian kompetitif baik nasional (KKP3T DEPTAN, SINTA-DIKTI) maupun internasional (SEAMO SEARCA).

Riset yang diusulkan dalam program Hibah Kompetensi ini sangat erat kaitannya dengan ketiga bidang riset di atas dimana proses produksi biogas dalam biocodigester anaerobik berbahan baku limbah industri tapioka dan limbah peternakan membutuhkan pengalaman dan pemahaman dari ketiga aplikasi tersebut.

### 2.3. Tujuan Penelitian

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem baru produksi biogas dari limbah industri tapioka dan limbah peternakan dalam sistem Biocodigester<sup>1</sup>. Data-data teknis parameter desain, kondisi operasi, hidrodinamika proses dan sifat fisika-kimia fluida mutlak diperlukan dalam membuat desain, menyusun prosedur operasi dan menyiapkan troubleshooting untuk menyiapkan langkah selanjutnya yaitu difusi teknologi ke sasaran pengguna. Untuk menyelesaikan dan menjawab permasalahan di atas, maka secara spesifik tujuan riset ini adalah :

- Desain dan pabrikan prototipe sistem Biocodigester kapasitas 50 liter satu dan dua tahap, pilot plant kapasitas 5 m<sup>3</sup> lengkap dengan sistem pengendalian dan sensor serta

---

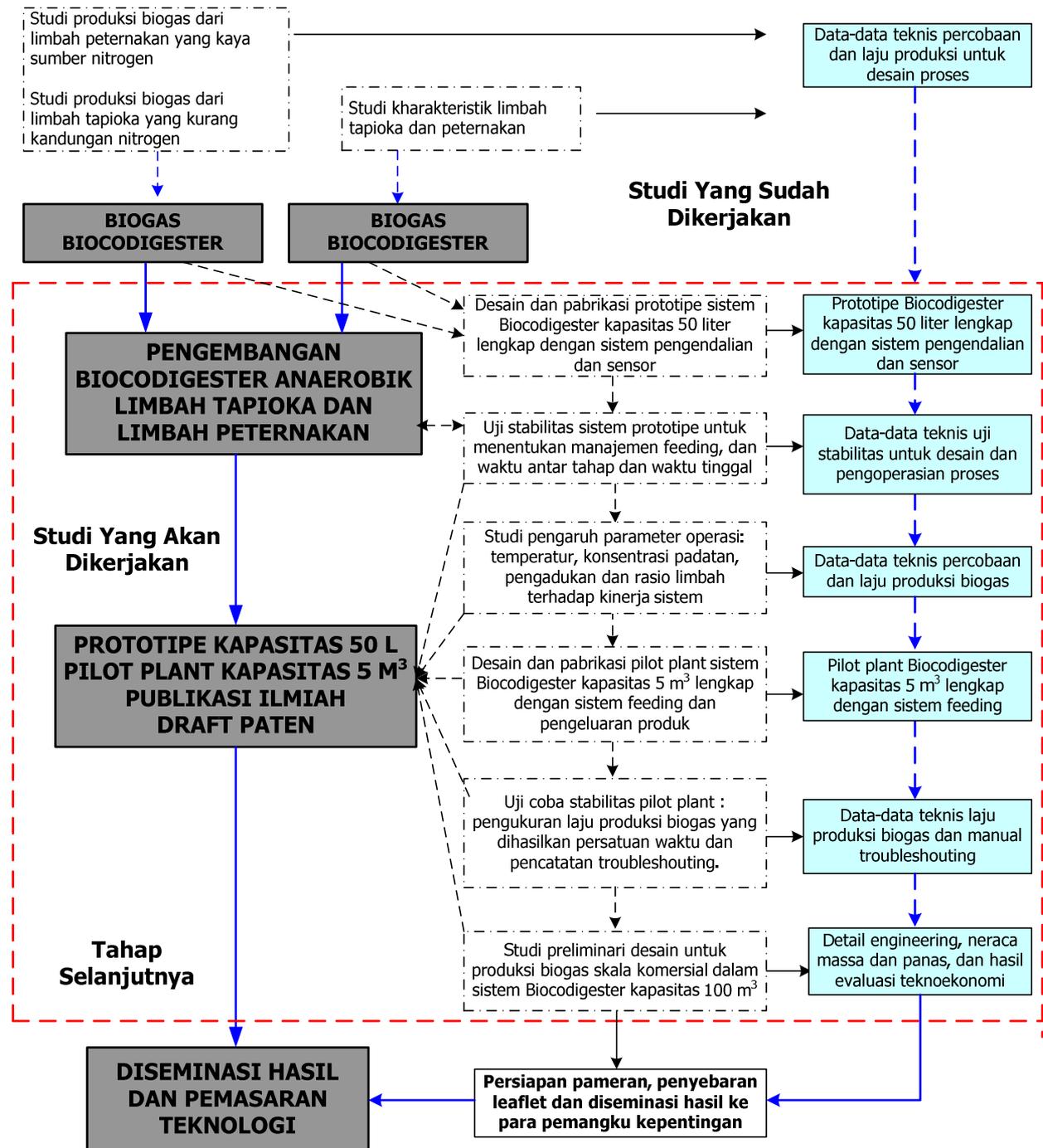
<sup>1</sup> Istilah biocodigester digunakan dalam proposal ini untuk menyatakan digester sebagai tempat bioreaksi anaerobik limbah tapioka dibantu pencernaannya (*co-digestion*) dengan limbah peternakan dan starter mikroba

menguji stabilitas sistem untuk produksi biogas dengan melibatkan beberapa parameter operasi untuk mendapatkan data-data teknis operasi produksi serta dinamikanya.

- Mengkaji pengaruh parameter operasi seperti temperatur, pH, rasio limbah, konsentrasi padatan, pengadukan, dan waktu tinggal reaksi terhadap kinerja biocodigester.
- Mengembangkan pemodelan teoritik dan simulasi numerik pengaruh parameter intrinsik terhadap karakteristik proses produksi biogas dalam sistem biocodigester.
- Studi preliminari desain untuk produksi biogas skala komersial dalam sistem biocodigester kapasitas 100 m<sup>3</sup> meliputi evaluasi teknik yaitu diagram alir proses, diagram instrumentasi dan perpipaan, lay out peralatan, deskripsi proses, neraca massa dan panas, serta instrumentasi dan data sheet peralatan, serta evaluasi ekonomi yang meliputi biaya investasi, biaya operasi, *return of investment*, *internal rate of return*, *profitability*, dan *break eventpoint*.

### 3. Kegiatan yang sudah dilaksanakan dan yang akan dikerjakan

Gambar 3 menunjukkan keterkaitan antara kegiatan yang sudah dilaksanakan dengan yang akan dikerjakan. Pemahaman mendasar sistem baru produksi biogas dari limbah cair industri tapioka dan limbah peternakan dalam sistem biocodigester bertujuan untuk mendapatkan data-data teknis parameter desain, kondisi operasi dan hidrodinamika proses.



Gambar 3. Keterkaitan antara kegiatan yang sudah dilaksanakan dengan yang akan dikerjakan dalam penelitian hibah kompetensi ini

#### 4. Kebaruan/Inovasi/Invensi Yang Akan Diperoleh

Secara keseluruhan penelitian ini difokuskan untuk mengembangkan sistem baru produksi biogas dari kombinasi limbah cair industri tapioka dan limbah peternakan dalam sistem Biocodigester. Kebaruan dan keunggulan dari sistem yang dikembangkan ini antara lain:

- a. Sistem menghasilkan biogas dalam waktu yang sangat singkat dengan produksi tiga kali lipat dibandingkan sistem konvensional untuk jangka waktu yang sama.
- b. Sistem biocodigester bisa dioperasikan secara satu tahap maupun dua tahap (tahap hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan tahap metanogenesis) untuk memudahkan pengendalian kondisi operasi.
- c. Sistem dapat beroperasi secara kontinu sehingga laju produksi biogas persatuan volume tinggi yang berimplikasi pada penurunan volume biocodigester.

Untuk mendapatkan pemahaman karakteristik proses yang fundamental dan komprehensif, penelitian ini akan difokuskan pada lima parameter kunci baik yang sangat mempengaruhi dalam membuat desain dan uji kelayakan teknologi hasil temuan yaitu:

- a. Konsentrasi padatan (*slurry*).
- b. Faktor pengadukan yang berimplikasi pada homogenitas dalam biocodigester.
- c. Pengendalian tingkat keasaman (pH) dalam biocodigester yang berimplikasi pada laju produksi biogas.
- d. pengoperasian baik secara satu atau dua tahap yang berimplikasi pada kemudahan pengendalian semua parameter operasi.
- e. Waktu tinggal dalam biocodigester yang mencerminkan tingkat kesempurnaan degradasi material untuk produksi biogas.

Data-data teknis parameter desain, kondisi operasi, hidrodinamika proses dan sifat fisika-kimia fluida mutlak diperlukan dalam membuat desain, menyusun prosedur operasi dan menyiapkan troubleshooting untuk menyiapkan langkah selanjutnya yaitu difusi teknologi ke sasaran pengguna. Untuk menyelesaikan dan menjawab permasalahan diatas, maka secara spesifik tujuan riset ini telah dijabarkan secara detail dibagian sebelumnya.

Keseluruhan tahapan penelitian ini akan memberikan dampak yang signifikan seperti:

- Percepatan implementasi dan alih teknologi Perguruan Tinggi dalam produksi biogas dengan memanfaatkan Biocodigester oleh IKM (Industri Kecil Menengah) dan industri besar bekerjasama dengan Pemerintah Daerah, Pemerintah Propinsi, Pemerintah Pusat dan Lembaga Pemerintah terkait merupakan satu kesatuan roadmap kelanjutan riset ini.
- Temuan dan aplikasi teknologi diproyeksikan menjadi terobosan penyelesaian masalah bangsa dalam mewujudkan energi mandiri yang berimplikasi pada penurunan kebutuhan energi fosil yang berdampak pada pengurangan devisa negara.

- Dampak jangka panjang terjadi diversifikasi dan pengembangan swadaya masyarakat dalam penyediaan dan penggunaan bioenergi bagi keperluan rumah tangga termasuk untuk kegiatan usaha industri rumah tangga khususnya di pedesaan.
- Potensi terolahnya limbah industri tapioka dan limbah peternakan sehingga masalah pencemaran lingkungan bisa diatasi sehingga berdampak pada penurunan *global warming*.
- Manfaat lebih lanjut setelah terimplementasinya hasil penelitian ini dipedesaan adalah terdorongnya kemunculan unit-unit produksi biogas skala Industri Kecil Menengah (IKM) berbasis industri tapioka dan limbah peternakan.

Kelima dampak di atas akan memberikan dampak lebih lanjut pada perluasan lapangan kerja baru bagi tenaga kerja terdidik dan non-terdidik sehingga kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan meningkat yang berimplikasi pada peningkatan stabilitas nasional.

## 5. Metode Pelaksanaan dan Luaran yang Ditargetkan

### 5.1. Luaran Kegiatan yang Ditargetkan

Keseluruhan tahap penelitian ini akan memberikan tiga luaran terukur sebagai berikut :

- (a) buku ajar "**Produksi Biogas dari Limbah Industri Tapioka dan Limbah Peternakan**",
- (b) satu draf usulan paten "**Biocodigester Anaerobik Untuk Percepatan Produksi Biogas dari Limbah Industri Tapioka dan Limbah Peternakan**"
- (c) dua publikasi nasional dan dua publikasi internasional. Rencana judul-judul artikel yang akan dipublikasikan adalah sebagai berikut :

- A Novel Anaerobic Biocodigester System for Enhancing Biogas Production from Cassava Starch Effluent and Animal Waste, akan disubmit ke Journal of Bioresource Technology (Elsevier Publisher).
- Effect of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  Buffer and Number of Stage on Anaerobic Codigestion to Produce Biogas from Cassava Starch Effluent and Animal Waste, akan disubmit ke Journal of Microbiology and Biotechnology (Elsevier Publisher)
- Studi of Parameters for Biogas Production by Anaerobic Codigestion: Temperature, Slurry Concentration, pH, and Ratio Waste", akan disubmit ke Jurnal Reaktor (Jurnal Terakreditasi)
- Preliminary Design of Biocodigester for Enhancing Biogas Production from Cassava Starch Effluent and Animal Waste: Detail Engineering and Economic Evaluation" akan disubmit ke Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses Teknik Kimia UNDIP Semarang

Selain buku ajar, paten dan publikasi ilmiah keseluruhan tahapan penelitian ini akan memberikan beberapa luaran terukur sebagai kontribusi yaitu :

- Prototipe bio-codigester dua tahap kapasitas 50 liter dan  $5 \text{ m}^3$ .
- Data-data teknis uji prototipe dan pilot plant untuk desain dan pengoperasian proses meliputi: rasio limbah tapioka dan limbah ternak, sistem manajemen feeding, komposisi biogas dan manajemen operasi, serta data-data pengendalian pH dengan penambahan buffer  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
- Desain produksi biogas skala komersial kapasitas  $100 \text{ m}^3$  meliputi detail engineering, neraca massa dan panas, modul pengoperasian proses, dan hasil evaluasi ekonomi.

### 5.2. Metode Pelaksanaan atau Pendekatan Teoritik

- Tahun ketiga, riset akan difokuskan pada aspek: desain dan pabrikasi prototipe sistem Biocodigester dua tahap kapasitas 50 liter lengkap dengan sistem pengendalian dan sensor serta uji stabilitasnya. Dua tahap dimaksudkan untuk memisahkan tahap hidrolisis-asidogenesis dan asetogenesis-metanogenesis. Pengembangan model teoritik dan simulasi numerik pengaruh parameter intrinsik terhadap karakteristik proses produksi biogas dalam sistem Biocodigester dua tahap dan kajian eksperimental pengaruh parameter operasi seperti temperatur, pH, konsentrasi padatan, pengadukan, dan waktu tinggal reaksi juga merupakan fokus penelitian tahun ketiga. Pada tahun ini

riset juga akan difokuskan pada aspek: desain dan pabrikasi pilot plant sistem Biocodigester kapasitas skala rumah tangga 5 m<sup>3</sup> lengkap dengan sistem pengendalian dan sensor serta uji stabilitas sistemnya untuk mendapatkan data-data laju produksi biogas. Pada tahap akhir tahun ketiga akan dilakukan studi preliminari desain untuk produksi biogas skala komersial kapasitas 100 m<sup>3</sup> meliputi: diagram alir proses, diagram instrumentasi dan perpipaan, lay out peralatan, neraca massa dan panas, spesifikasi peralatan, serta evaluasi ekonomi yang meliputi *fixed capital cost*, *fixed manufacturing cost*, *return of investment*, *internal rate of return*, *profitability*, dan *break eventpoint*.

## **Tahun Ketiga**

### **1. Studi Eksperimental Biocodigester Dua Tahap**

Pada biocodigester dua tahap akan dipisahkan tahap hidrolisis-asidogenesis dan tahap asetogenesis-metanogenesis. Gagasan pemisahan dalam dua tahap ini muncul karena pada produksi biogas dari limbah tapioca, laju penurunan pH terjadi sangat cepat sehingga mikroba metanogenesis akan mati. Untuk menghindari ketidaksempurnaan proses ini, maka setelah proses hidrolisis-asidogenesis tingkat keasaman diatur sekitar pH 7 dan ditambahkan lagi mikroba metanogenesis.

Langkah produksi biogas dimulai dengan pengumpanan limbah tapioka dan limbah peternakan ke dalam tangki pencampur. Kemudian starter dengan rasio tertentu juga diumpankan ke dalam tangki. Campuran selanjutnya diaduk hingga homogen sebelum diumpankan ke dalam biocodigester pertama. PH campuran di atur di kisaran 7 dengan menggunakan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sebelum dialirkan dengan pompa ke tangki biocodigester pertama. Keluar biocodigester pertama pH diatur hingga 7-8 dan ditambahkan lagi mikroba metanogenesis untuk mempercepat produksi biogas.

Uji hasil dilakukan dengan analisis volume gas metan dengan metode *liquid displacement methods* setiap hari, sedangkan uji komposisi kandungan metan dalam biogas dilakukan dengan cara mengambil sampel gas di hari terakhir pengamatan kemudian sampel dianalisis menggunakan GC. Pengamatan dilakukan terus menerus sampai gas metan tidak terbentuk

### **2. Pengembangan model dan simulasi**

Penelitian pada tahap ini bertujuan untuk menentukan kondisi operasi optimum dan mempelajari kinerja sistem Biocodigester dua tahap dari limbah industri tapioka dan limbah peternakan. Penggunaan model dalam penelitian ini diikuti dengan simulasi dan uji eksperimental di laboratorium diharapkan mampu men-generalisasi kinerja sistem produksi biogas secara umum.

#### **Model Laju Produksi Biogas**

Dengan asumsi bahwa laju produksi biogas di dalam biodigester batch selalu sebanding dengan laju pertumbuhan spesifik mikroorganisme metanogenik di dalam biodigester, maka laju produksi biogas akan mengikuti Persamaan Gompertz [33]. Kurva Gompertz atau fungsi Gompertz adalah fungsi sigmoid (berbentuk S). Persamaan ini merupakan model matematis untuk pengamatan *time series*, yaitu pertumbuhan paling lambat pada saat

awal dan akhir periode waktu pengamatan yang memiliki bentuk umum persamaan sebagai berikut.

$$y(t) = ae^{be^{ct}} \dots\dots\dots (1)$$

$a$  = asimtot atas

$c$  = laju pertumbuhan

$b, c$  = konstanta negatif

$e$  = bilangan Euler ( $e = 2.71828\dots$ )

Persamaan di atas bisa disusun ulang menjadi

$$y = a \cdot \exp[-\exp(b - ct)] \dots\dots\dots (2)$$

Dengan menyesuaikan beberapa parameter persamaan Monod untuk laju pertumbuhan mikroorganisme ke dalam persamaan Gompertz, dan dengan mengikuti fenomena pertumbuhan mikroba, maka persamaan Gompertz bisa disusun ulang menjadi persamaan baru dengan langkah-langkah sebagai berikut.

Pada titik belok (yang menyatakan *lag phase*), turunan kedua  $y$  sama dengan nol pada saat  $t$  sama dengan  $t_i$  (*inflection point*, titik belok  $t_i$ )

$$\frac{dy}{dt} = ac \cdot \exp[-\exp(b - ct)] \cdot \exp(b - ct) \dots\dots (3)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = ac^2 \cdot \exp[-\exp(b - ct)] \cdot \exp(b - ct) [-\exp(b - ct) - 1] \dots\dots (4)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = 0 \rightarrow t_i = b / c \dots\dots\dots (5)$$

Laju pertumbuhan maksimum spesifik ( $\mu_m$ ) dapat ditentukan dengan menentukan turunan pertama pada titik belok  $t=t_i$

$$\mu_m = \left( \frac{dy}{dt} \right)_{t_i} = \frac{ac}{e} \dots\dots\dots (6)$$

Sesuai dengan persamaan (6), parameter  $c$  dari persamaan Gompertz dapat disubstitusikan dengan ( $\mu_m e/a$ )

Persamaan garis melalui titik belok  $t_i$  bisa dinyatakan dengan

$$y = \mu_m \cdot t + \frac{a}{e} - \mu_m \cdot t_i \dots\dots\dots (7)$$

Waktu lag fase dapat didefinisikan dengan titik potong garis di atas dengan sumbu  $x$  atau ( $y=0$ )

$$0 = \mu_m \cdot \lambda + \frac{a}{e} - \mu_m \cdot t_i \dots\dots\dots (8)$$

Diperoleh  $\lambda = \frac{(b-1)}{c}$  ..... (9)

Sesuai dengan persamaan (9), parameter b dari persamaan Gompertz bias diganti dengan

$$b = \frac{\mu_m e}{a} \lambda + 1 \quad \text{..... (9.a)}$$

Titik asimptot atas (a) dicapai bila waktu t mendekati tak terhingga,

$$t \rightarrow \infty : y \rightarrow a \Rightarrow A = a$$

Parameter a dari persamaan Gompertz bias disubstitusi dengan parameter A menghasilkan persamaan Gompertz termodifikasi sebagai berikut:

$$y = A \exp \left\{ -\exp \left[ \frac{\mu_m e}{A} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad \text{..... (10)}$$

Parameter pada persamaan (10) bila disesuaikan dengan beberapa parameter untuk laju produksi biogas akan menghasilkan persamaan laju produksi biogas sebagai berikut:

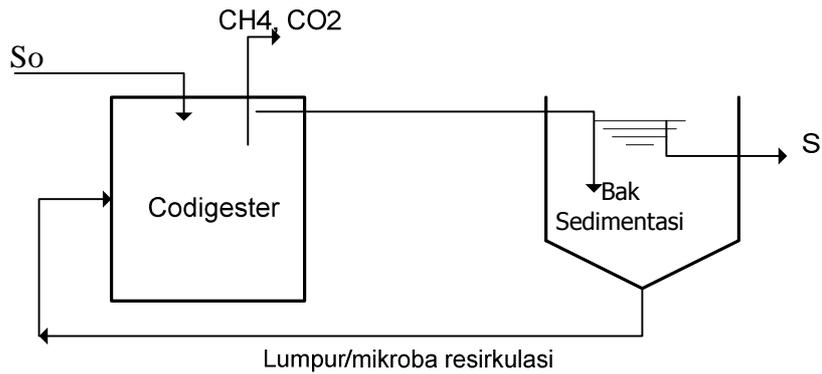
$$M = Px \exp \left\{ -\exp \left[ \frac{R_m x e}{P} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad \text{..... (11)}$$

- M = produksi metana kumulatif, liter
- P = produksi metana potensial, liter
- R<sub>m</sub> = laju produksi metana maksimum (liter/hari)
- λ = lama *lag phase*, hari
- t = waktu kumulatif untuk produksi biogas, hari

Persamaan di atas menggambarkan persamaan laju produksi biogas pada berbagai waktu pengamatan. Konstanta P, λ, dan R<sub>m</sub> ditentukan dengan menggunakan metode *least square* terhadap data yang diperoleh dari uji eksperimental. Konstanta yang diperoleh bisa digunakan untuk simulasi pengaruh berbagai parameter operasi terhadap laju produksi biogas.

### **Laju Degradasi Padatan Organik**

Penyusunan model laju degradasi padatan organik secara anaerobik dilakukan dengan menyusun neraca massa substrat dan sel dari diagram berikut ini.



Gambar 5. Penyusunan neraca massa sel dan substrat

Dalam hal ini, substrat mengandung bahan organik yang dinyatakan sebagai *Chemical Oxygen Demand* (COD). Laju pertumbuhan sel mengikuti hukum Monod. Hasil akhir diperoleh persamaan persamaan sebagai berikut [34]:

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y(S_o - S)}{X\theta} - b \dots\dots\dots (12)$$

dan

$$\frac{\theta X}{S_o - S_1} = \frac{K_s}{k} \left( \frac{1}{S_1} \right) + \frac{1}{k} \dots\dots\dots (13)$$

- dengan  $\theta_c$  = waktu tinggal sel (SRT, *Solid Retention Time*), (T)
- $\theta$  = waktu tinggal cairan (HRT, *Hydraulic Retention Time*), (T)
- $K_s$  = Konstanta setengah jenuh, (M/L<sup>3</sup>)
- $S_1$  = kosentrasi bahan organik keluar biodigester, (COD, M/L<sup>3</sup>)
- $S_o$  = kosentrasi bahan organik umpan biodigester, (COD, M/L<sup>3</sup>)
- $k$  = laju pemanfaatan substrat maksimum spesifik, (T<sup>-1</sup>)
- $b$  = laju kematian sel spesifik, (T<sup>-1</sup>)
- $Y$  = koefisien perolehan sel, (M/M)

Dengan membuat aluran antara  $(1/\theta_c)$  dengan  $(S_o-S)/(X\theta)$  dari persamaan (2) akan diperoleh garis lurus dengan kemiringan  $Y$  dan intersep  $-b$ . Selanjutnya, dengan membuat plot antara  $(X\theta)/(S_o-S_1)$  vs  $(1/S_1)$  akan diperoleh garis lurus dengan kemiringan  $(K_s/k)$  dan intersep  $1/k$ . Setelah diperoleh parameter kinetika ( $K_s$ ,  $b$ ,  $k$ , dan  $Y$ ) dengan cara tersebut di atas, selanjutnya dilakukan simulasi untuk menentukan kondisi operasi optimum dan mempelajari kinerja sistem Biocodigester untuk produksi biogas dan degradasi padatan organiknya. Hasil simulasi ini diharapkan mampu men-generalisasi kinerja sistem biocodigester untuk produksi biogas. Semua konstanta/parameter kinetika pada persamaan di atas bisa ditentukan bila telah diperoleh data-data hasil studi eksperimental sistem biocodigester.

### **3. Desain dan pabrikasi pilot plant sistem Biocodigester kapasitas skala rumah tangga 5 m<sup>3</sup>**

Kegiatan penelitian tahap ini difokuskan pada desain dan pabrikasi sistem pilot plant Biocodigester kapasitas 5 m<sup>3</sup> dan uji kestabilan sistem. Beberapa aspek pertimbangan dalam perancangan yang merupakan inovasi utama dari penelitian ini antara lain :

- Biocodigester dilengkapi dengan sistem feeding, sistem pengeluaran, dan sistem transpostasi biogas menuju kompor.
- Biocodigester dilengkapi dengan beberapa katup pengeluaran yang bisa digunakan untuk pengambilan sampel maupun sebagai tempat resirkulasi lumpur dan biogas.
- Operasionalisasi pengolahan dari siklus ke siklus (pengisian, reaksi, pengendapan, dan pengeluaran) dikendalikan secara manual untuk memudahkan proses operasionalisasi produksi biogas.
- Pemisahan antara cairan dan lumpur pada fase pengeluaran (*drawing*) dibantu dengan bak sedimentasi. Hal ini lebih menjamin diperoleh pemisahan antara padatan dengan cairan yang lebih baik. Sebagian lumpur/padatan mikroba yang mengendap dikembalikan ke dalam biodigester sehingga konsentrasi mikroba di dalam biodigester semakin tinggi dan produksi gas semakin tinggi pula. Sebagian lumpur/padatan dibuang sebagai padatan sisa yang bisa dimanfaatkan lebih lanjut menjadi pupuk.
- Uji stabilitas sistem dengan kapasitas biodigester 5 m<sup>3</sup> untuk menentukan manajemen feeding, dan waktu antar tahap siklus (pengisian, reaksi, pengendapan, dan pengeluaran), waktu tinggal sel (*Solid retention Time, SRT*) bertujuan untuk memahami masalah-masalah yang muncul selama operasi. Setiap permasalahan yang muncul kemudian dipecahkan dan *direcord* dalam buku *troubleshooting*. Uji stabilitas ini dilakukan sampai pada tahap akhir pemanfaatan biogas untuk pembakaran.

### **4. Preliminari desain dan evaluasi tekno-ekonomi untuk kapasitas 100 m<sup>3</sup>**

Studi preliminari desain untuk produksi biogas skala komersial dalam sistem Biocodigester kapasitas 100 m<sup>3</sup> meliputi evaluasi teknik yaitu diagram alir proses, diagram instrumentasi dan perpipaan, lay out peralatan, deskripsi proses, neraca massa dan panas, serta instrumentasi dan data sheet peralatan, serta evaluasi ekonomi yang meliputi biaya investasi, biaya operasi, *return of investment*, *internal rate of return*, *profitability*, dan *break eventpoint*

## 6. Hasil Penelitian

Sebagai dasar penentuan kadar limbah tapioka yang akan dibuat secara sintesis, maka digunakan sumber pada penelitian terdahulu dimana limbah tapioka diambil dari daerah Margoyoso, Pati, Jawa Tengah. Di daerah ini terdapat sekitar 399 industri kecil masyarakat yang bergerak dalam bidang produksi pengolahan tapioka. Untuk konsumsi air dari masing-masing IKM adalah 40 m<sup>3</sup>/hari, sehingga total penggunaan air seluruhnya mencapai 15.960 m<sup>3</sup>/hari. Berikut ini adalah tabel sifat fisika dan kimia limbah cair tapioka yang diambil secara *random* dari beberapa IKM di Margoyoso.

**Tabel 6.1. Sifat Fisika dan Kimia Limbah Cair Tapioka**

No.	Sumber	Amilosa(ppm)	Amilopektin(%)	Total Solid(%)
1.	Sutiyo	381,109	0,35638	0,62650
2.	Bambang	104,965	0,33740	1,1287
3.	Harno	428,009	0,31409	0,79520

*Sumber : Analysis Certificate No. PS/106/IV/08 Food and Nutrient Study Centre Gajah Mada University*

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa total solid dalam limbah cair tapioka berada pada kisaran 0,62650-1,1287%. Menurut Soemarno (2007), dalam proses pengolahan ubi kayu menjadi tapioka basah tingkat kehilangan tapioka yang ikut bersama air buangan selama proses pengendapan slurry sebanyak 1% dari total tapioka dalam ubi kayu. Oleh sebab itu, maka pada penelitian ini limbah dibuat secara sintesis dengan total solid 1% (w/v).

Nutrisi dianggap sebagai faktor utama yang mempengaruhi mikroorganisme dalam produksi biogas. Seperti proses biologis lainnya, metanogenesis melibatkan mikroorganisme yang mengubah bahan organik menjadi metana, karbon dioksida dan gas-gas lain. Tingkat keseluruhan pemanfaatan bahan organik dan produksi metana tergantung pada sejauh mana kebutuhan nutrisi bakteri metanogen dan bakteri non-metanogen dapat dipenuhi oleh konstituen dari bahan organik dan dengan metabolit primer atau sekunder yang dihasilkan oleh satu spesies (Koumanova, 2008). Nutrisi utama yang diperlukan untuk mikroorganisme dalam produksi biogas termasuk karbon dan nitrogen. Mikroorganisme dalam *anaerobic digestion* biasanya menggunakan karbon sebagai sumber energi untuk pertumbuhan dan nitrogen untuk pembentukan struktur sel. Tapioka sebagai substrat efluen dipersiapkan untuk produksi biogas mengandung nitrogen 0,46% dan 39,58% karbon, yang memiliki rasio karbon : nitrogen sekitar 86:1.

Rasio karbon terhadap nitrogen yang tinggi (86:1) pada limbah tapioka merangsang kelebihan produksi asam dan kekurangan nitrogen. Kurangnya sumber nitrogen yang diperlukan untuk pertumbuhan bakteri juga akan membatasi produksi biogas. Pohland dan Bloodgood (1963) menyatakan bahwa jika rasio karbon terhadap nitrogen melebihi 16:1, kapasitas mikroorganisme untuk pencernaan organik tidak akan meningkat. Pembentukan gas gagal jika rasio karbon terhadap nitrogen lebih tinggi dari 52:1 (Sanders dan Bloodgood, 1965). Sumber nitrogen harus dipertimbangkan untuk meningkatkan produksi biogas dari limbah tapioka. Nitrogen dapat ditambahkan dalam bentuk anorganik (misalnya amonia) atau dalam bentuk organik (misalnya urea, pupuk kandang atau sisa makanan) (Sterling *et al.*, 2001.). Dalam penelitian ini, urea dipilih sebagai sumber nitrogen karena mudah dicerna oleh berbagai mikroorganisme. Selain itu, urea yang berisi nitrogen menjadi sumber nutrisi bagi pertumbuhan mikroorganisme. Konsentrasi urea 0,04% (w/v) bekerja. Anunputtikul (2004) merekomendasikan untuk produksi biogas dari limbah tapioka, konsentrasi urea harus 0,04% (w/v). Kelebihan urea dapat menghambat produksi metana.

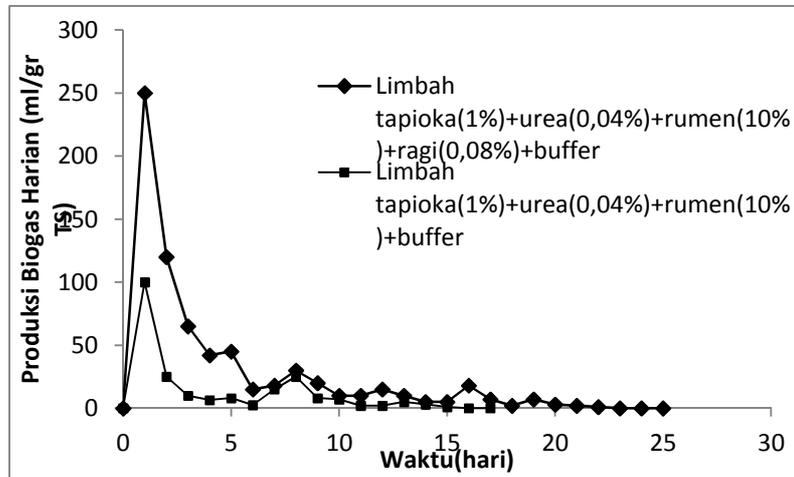
Biogas yang dihasilkan tergantung pada komposisi material umpan. Bahan-bahan organik yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas antara lain kotoran hewan, sampah padat, lumpur kotoran, limbah perairan dan sebagainya. Dalam penelitian ini, bahan baku yang digunakan adalah limbah cair tapioka yang akan diproses untuk menghasilkan biogas dengan menggunakan proses fermentasi 2 tahap secara *batch* dan semi kontinyu. Karakteristik biogas yang dihasilkan pada masing-masing proses akan dijelaskan di bawah ini.

### **6.1. PROSES BATCH**

Untuk proses fermentasi 2 tahap secara *batch*, tangki 1 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,08% (w/v), dan bakteri rumen 10% (v/v). Tangki 2 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), dan bakteri rumen 10% (v/v). Tangki 3 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,15% (w/v), dan bakteri rumen 15% (v/v). Tangki 4 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,15% (w/v), dan bakteri rumen 15% (v/v). Tangki 5 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,15% (w/v), dan bakteri rumen 2% (v/v). Tangki 6 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,15% (w/v), dan bakteri rumen 8% (v/v). Tangki 7 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,15%, dan bakteri rumen 15%. Tangki 8 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,15%, dan bakteri rumen 20%. Pada masing-masing tangki diperlukan penambahan buffer  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  setiap harinya untuk mengatasi drop pH kecuali pada tangki 4 sehingga pH dibiarkan begitu saja sampai biogas tidak terbentuk.

Biodigester anaerobik dioperasikan pada basis 2 L, suhu kamar selama 30 hari. Berikut ini adalah pembahasan dan kajian dari penelitian yang dilakukan.

### 6.1.1. Pengaruh Substrat Aktivator Terhadap Kecepatan Pembentukan Biogas



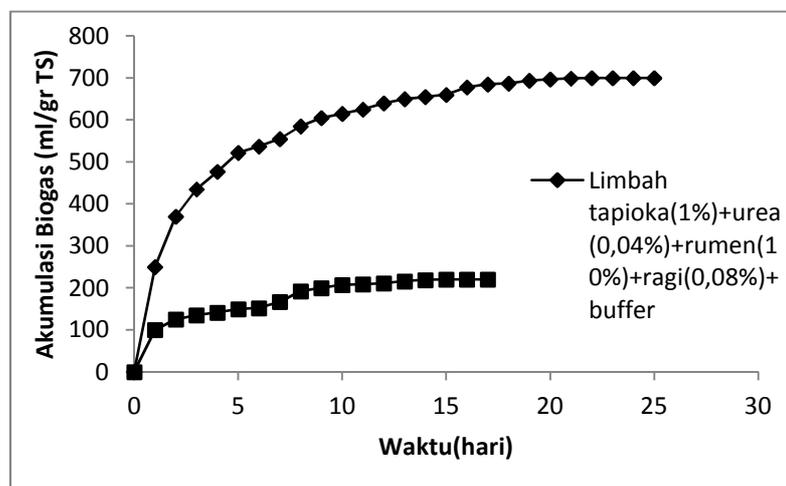
Gambar 6.1. Grafik Pengaruh Substrat Aktivator Terhadap Produksi Biogas

Gambar 6.1 diatas menerangkan hubungan dari pengaruh substrat aktivator berupa ragi terhadap laju pembentukan biogas. Proses fermentasi diamati selama 30 hari berturut-turut, dimana analisa jumlah biogas yang dihasilkan, pH dan temperatur dilakukan setiap harinya. Untuk mempelajari pengaruh substrat aktivator pada produksi biogas ini, starter berupa ragi tape (*Saccharomyces cerevisiae*) ditambahkan pada tahap hidrolisis (Sangyoka., 2007).

Dari gambar 6.1 diatas, menunjukkan bahwa dengan penambahan ragi (*Saccharomyces cereviceae*) menghasilkan biogas yang lebih banyak dibandingkan tanpa penambahan ragi. Hal ini dikarenakan ragi (*Saccharomyces cereviceae*) mampu berperan sebagai substrat aktivator sehingga akan mempercepat proses degradasi senyawa kompleks yaitu polisakarida menjadi senyawa yang lebih sederhana yaitu disakarida dan monosakarida. Dengan proses degradasi yang lebih cepat akan menyebabkan pembentukan asam dan gas metan menjadi lebih cepat pula sehingga biogas yang dihasilkan pun menjadi lebih banyak. Ragi tape mengandung mikroba yang dapat menghidrolisis tapioka yang merupakan polisakarida menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana (disakarida dan monosakarida) (Hidayat, 2006).

Ada beberapa tahapan dalam pembentukan biogas, yaitu tahap hidrolisis, tahap asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Pada tahap hidrolisis, material organik seperti protein, selulosa, lemak, dan pati mengalami proses degradasi oleh bakteri aerob menjadi molekul yang mempunyai berat molekul lebih kecil. Tahap kedua yaitu asidogenesis (pengasaman). Pada tahap ini, hasil dari tahap 1 akan dikonversi atau diubah oleh bakteri asetogenik dari marga *desulfovibrio* menjadi gas  $H_2$ ,  $CO_2$ , dan beberapa VFA lain seperti asam

butirat, asam asetat, dan asam propionat (Milono, 1981). Selanjutnya adalah tahap asetogenesis, yaitu tahap tahap penguraian asam butirat dan propionat oleh bakteri pembentuk asam menjadi asam asetat, gas H<sub>2</sub>, dan CO<sub>2</sub>. Produk yang dihasilkan dari tahap inilah yang nantinya akan menjadi bahan baku untuk menghasilkan gas metan yang berlangsung pada tahap selanjutnya yaitu tahap metanogenesis. Tahap metanogenesis merupakan tahap paling akhir dalam pembentukan biogas. Pada tahap ini, bakteri metanogenik atau bakteri pembentuk metan menghasilkan gas metan, karbondioksida, sedikit gas lain (seperti H<sub>2</sub>S), dan air. Sekitar 70% gas metan dibentuk dari asam asetat, dan sisanya dibentuk dari gas hidrogen dan karbondoksida. Oleh karena itu, tahap ini merupakan faktor yang menentukan kecepatan produksi biogas (Sterling Jr., 2001).

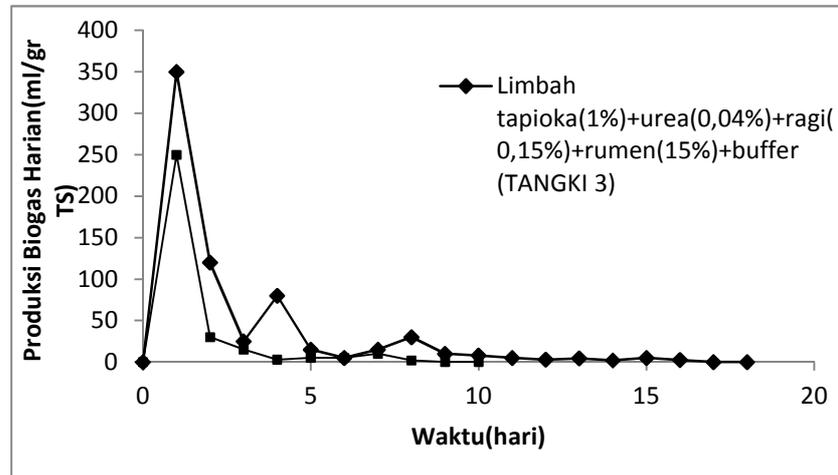


Gambar 6.2. Grafik Pengaruh Substrat Aktivator Terhadap Akumulasi Biogas

Ragi tape (*Saccharomyces cereviceae*) mampu mengubah senyawa kompleks yaitu polisakarida menjadi senyawa yang lebih sederhana yaitu disakarida dan monosakarida dengan waktu yang lebih cepat. Dengan bentuk yang lebih sederhana maka laju pembentukan asam akan lebih cepat jika dibandingkan dengan laju pengubahan asam menjadi metan oleh mikroba metanogenesis. Dapat dilihat pada gambar 6.2 diatas, produksi biogas tertinggi dihasilkan dengan menggunakan ragi sebagai substrat aktivator diperoleh 5000 ml atau 250 ml/gr TS pada hari ke-1, sedangkan produksi biogas tertinggi tanpa menggunakan substrat aktivator adalah 2000 ml atau 100 ml/gr TS pada hari ke-1 dan produksi biogas hanya berlangsung 15 hari dan selanjutnya biogas tidak lagi dihasilkan. Untuk akumulasi biogas total, dapat terlihat pada gambar 6.2 bahwa dengan penggunaan ragi mampu menghasilkan biogas sebesar 700 ml/gr TS atau 14.000 ml, lebih tinggi daripada produksi biogas tanpa menggunakan ragi yaitu 220 ml/gr TS atau 4400 ml. Perbandingan akumulasi produksi total biogas antara variabel penggunaan substrat aktivator dan tanpa penggunaan substrat aktivator adalah 3:1. Dari

perbandingan ini maka dapat dianalisa bahwa penggunaan ragi (*Saccharomyces cereviceae*) sebagai substrat aktivator memberikan pengaruh yang besar terhadap kuantitas biogas yang dihasilkan.

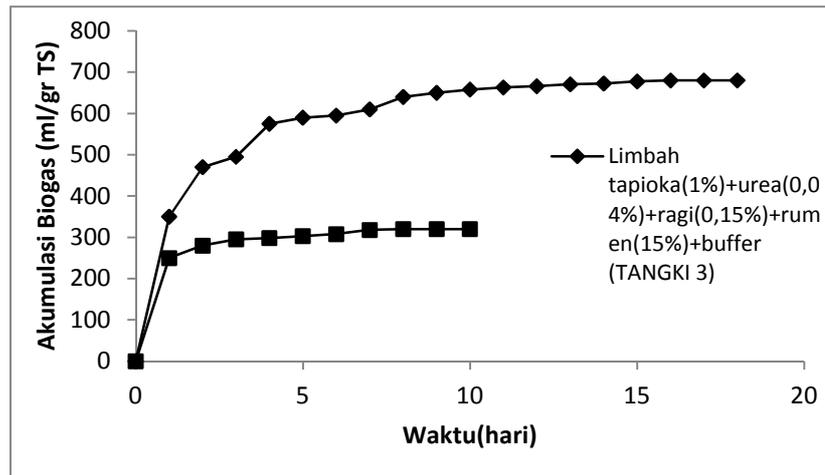
### 6.1.2. Pengaruh Buffer $\text{Na}_2\text{CO}_3$ Terhadap Kecepatan Pembentukan Biogas



Gambar 6.3. Grafik Pengaruh Buffer  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  Terhadap Produksi Biogas

Gambar 6.3 diatas menerangkan pengaruh dari penggunaan *buffer* terhadap laju pembentukan biogas. Dari gambar tersebut, dapat dijelaskan bahwa produksi biogas dengan menggunakan *buffer* berupa  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  jauh lebih banyak daripada tanpa menggunakan *buffer*. Pada hari ke-1, proses pembentukan biogas dengan menggunakan *buffer* pada umpan, mencapai hasil tertinggi sejumlah 350 ml/gr TS. Sedangkan pada umpan tanpa *buffer*, produksi biogas mencapai hasil tertinggi pada hari ke-1 yaitu 250 ml/gr TS, namun setelah hari ke-8, produksi biogas berhenti sama sekali. Berhentinya produksi biogas ini disebabkan karena pH semakin turun yaitu 5,7. Kondisi pH ini menyebabkan semua organisme mati, sehingga produksi biogas terhenti.

Pembentukan biogas yang lebih besar pada proses fermentasi 2 tahap disebabkan karena adanya proses hidrolisa terlebih dahulu yang merupakan proses degradasi senyawa kompleks yaitu polisakarida menjadi senyawa yang lebih sederhana yaitu disakarida dan monosakarida sehingga akan mempermudah proses pembentukan asam oleh bakteri asetogenik dan juga proses pembentukan metan oleh bakteri metanogenesis. Proses tersebut tidak akan dijumpai pada fermentasi 1 tahap, sehingga akan terjadi pembentukan asam yang terlalu cepat. Pembentukan asam yang terlalu cepat ini menyebabkan banyaknya bakteri metanogenesis yang mati karena tidak tahan dengan suasana asam. Terjadinya penurunan pH ini dapat diatasi dengan penambahan *buffer*, dalam hal ini menggunakan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  yang bertujuan untuk mempertahankan range pH agar bakteri dapat bertahan.

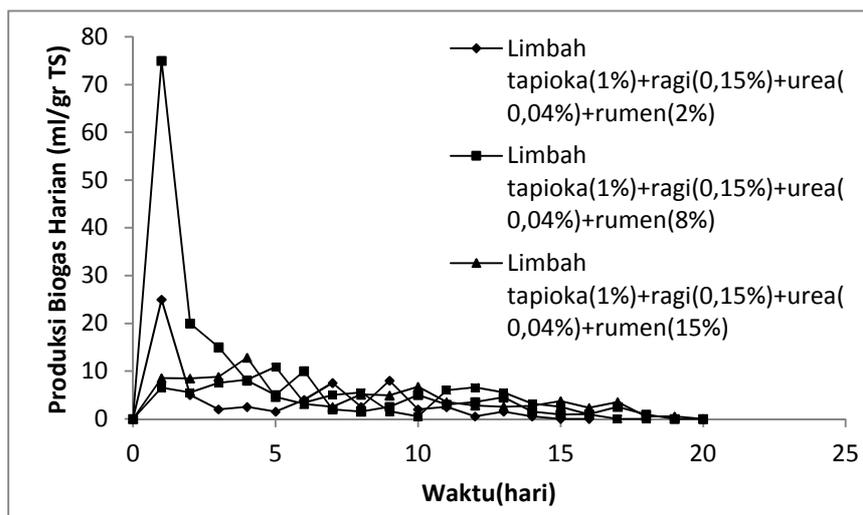


Gambar 6.4. Grafik Pengaruh Buffer Terhadap Akumulasi Produksi Biogas

Gambar 6.4 di atas menunjukkan bahwa akumulasi tertinggi produksi biogas didapatkan pada penambahan *buffer* yaitu sebesar 680 ml/gr TS. Penambahan *buffer* mengakibatkan pH medium berada pada range tumbuh bakteri metanogenik sehingga produksi biogas dapat berjalan terus menerus hingga substrat habis pada hari ke 16, pada variabel tanpa *buffer* produksi berhenti di hari ke-8 dan menghasilkan biogas jauh lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan ragi yaitu 320 ml/gr TS. Hal ini disebabkan semua mikroba mati karena pH yang terlalu rendah. Perbandingan akumulasi biogas total antara variabel penggunaan *buffer* dan tanpa *buffer* adalah 2 : 1. Hal ini menandakan bahwa penggunaan *buffer* memiliki peran penting dalam proses produksi biogas, dimana *buffer* mampu menjaga range pH yang sesuai dengan kondisi hidup mikroba.

### 6.1.3. Pengaruh Konsentrasi Bakteri Metanogenik (Bakteri Rumen) Terhadap Kecepatan Pembentukan Biogas

Gambar 6.5 diatas menjelaskan hubungan konsentrasi bakteri metanogenik (rumen) didalam proses fermentasi anaerob pada pembentukan biogas. Jika ditinjau dari trend garis pada masing-masing variabel, maka dapat dilihat bahwa laju produksi biogas harian yang paling baik diperoleh saat penambahan bakteri metanogenik sebesar 8%. Hal ini dikarenakan untuk proses pembuatan biogas dengan bahan baku limbah tapioka diperoleh jumlah optimum bakteri metanogenik adalah sebesar 10% (Anunputtikul, 2004; Soemarno, 2007).



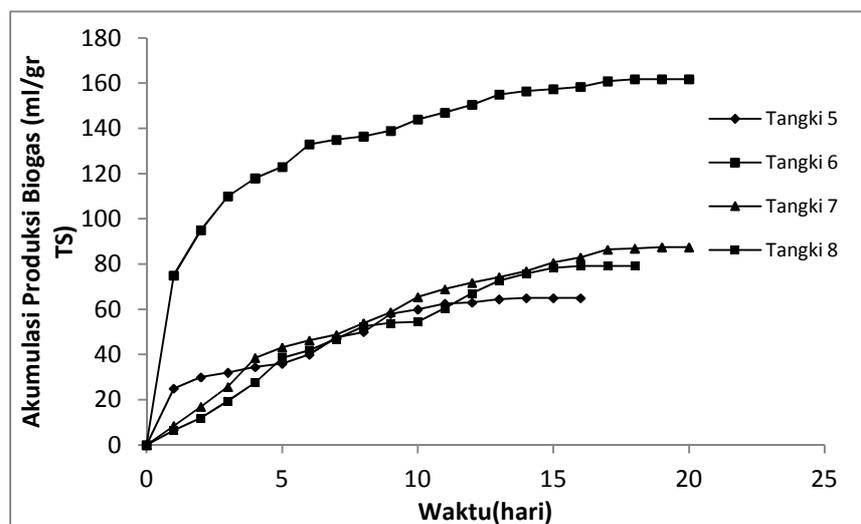
Gambar 6.5. Grafik Pengaruh Konsentrasi Mikroba Metanogenesis Terhadap Produksi Biogas

Pada tahap pembentukan gas metan, bakteri yang berperan adalah bakteri metanogenesis. Bakteri metanogenesis akan memanfaatkan hasil dari tahap kedua yaitu asetat, format, karbondioksida, dan hidrogen sebagai substrat untuk menghasilkan metan, karbondioksida, sisa-sisa gas seperti H<sub>2</sub>S dan air. Hampir dapat dipastikan bahwa 70% dari metan terbentuk dari asetat dan sisanya terbentuk dari karbondioksida dan hidrogen (Aiman *et al*, 1981 ; Buswell, 1930; Sangyoka. S, 2007). Pembentukan metan oleh bakteri metanogenesis terjadi pada kondisi anaerobik. Bakteri ini merupakan bakteri obligat anaerobik dan sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan.

Bakteri yang pertama kali bekerja dalam proses perubahan polimer yang kompleks seperti karbohidrat adalah bakteri selulolitik atau bakteri hidrolitik lainnya. Menurut Milono (1981), bakteri selulolitik memecah atau memotong molekul selulosa yang merupakan molekul dengan berat yang tinggi menjadi selulobiose (glukosa) dan menjadi glukosa bebas (*free glucose*). Glukosa kemudian di fermentasi secara anaerob menghasilkan bermacam-macam produk fermentasi seperti asetat, propionat, butirat, H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. H<sub>2</sub> hasil dari fermentasi primer dengan segera dipakailah oleh bakteri metanogenik (metanogen) yang merupakan bakteri terakhir yang digunakan dalam proses fermentasi anaerob. Selain itu, asetat juga dibutuhkan untuk perubahan menjadi metana dalam proses fermentasi anaerob oleh beberapa bakteri metanogenik. Protein dan lemak juga dapat mengalami proses fermentasi anaerob yang menghasilkan metana. Meskipun kandungan protein dan lemak lebih sedikit daripada karbohidrat, tetapi metana yang dihasilkan dari fermentasi protein dan lemak dapat menambah jumlah metana yang digunakan untuk biogas. Semakin banyak kandungan bahan organik yang terdapat dalam *slurry* maka mikroorganismenya dapat tumbuh dan berkembang dengan baik serta semakin banyak bahan organik yang dapat diubah menjadi metana.

Ada lima genus bakteri metanogenik yang berperan dalam pembentukan metan ini yaitu: *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanopyrales*, *Methanococcus*, dan *Methanosarcina* (Sangyoka. S, 2007). Bakteri metanogenesis merupakan bakteri yang paling penting dalam proses perombakan anaerobik. Kelompok bakteri ini merupakan organisme yang sangat sensitif terhadap oksigen dan perubahan pH medium (Milono, *et al.*, 1981). Kecepatan tumbuh bakteri ini lebih lambat dan lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan jika dibandingkan dengan bakteri non-metanogenik (Milono, *et al.*, 1981). Kemampuan khusus bakteri ini yaitu untuk menghilangkan kelebihan elektron dengan cara yang efektif yaitu dengan cara mengkonversi hidrogen menjadi metan yang menyebabkan konsentrasi hydrogen dalam medium tetap rendah. Hal ini penting untuk keberadaan bakteri asetogenesis dan pada akhirnya menyebabkan proses perombakan dapat terus berlangsung secara efektif (Adams, 1981).

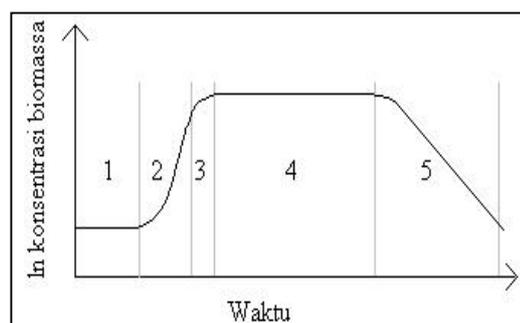
Pada proses fermentasi anaerob untuk pembentukan biogas ini, digunakan mikroba perombak yang berasal dari rumen sapi. Dari hasil penelitian Anunputtikul (2004) menunjukkan bahwa populasi *Fibrobacter succinogenes* adalah paling besar di dalam rumen sapi dan domba. Produk akhir hasil perombakan selulosa oleh bakteri selulolitik adalah suksinat, asetat, format atau butirrat.



Gambar 6.6. Grafik Pengaruh Konsentrasi Mikroba Metanogenesis Terhadap Akumulasi Produksi Biogas

Dari gambar 6.6 dapat terlihat bahwa akumulasi tertinggi produksi biogas didapatkan pada penambahan bakteri metanogenik sebesar 8% (v/v) yaitu sebesar 3236 ml atau 161,8 ml/gr TS. Sedangkan produksi biogas untuk variabel konsentrasi bakteri metanogenik sebesar 2%, 15% dan 20% (v/v) berturut-turut adalah sebesar 1300 ml atau 65 ml/gr TS, 1749 ml atau 87,45 ml/gr TS dan 1584 ml atau 79,2 ml/gr TS.

Jika dihubungkan dengan kurva pertumbuhan mikroorganismenya, maka dapat dijelaskan bahwa jumlah biomassa dalam kasus ini adalah produksi biogas, tergantung dari jumlah mikroba pengurai dalam proses metanogenesis dengan jumlah kebutuhan nutrisi yang terdapat dalam bahan baku. Pertumbuhan bakteri metanogenesis di awal proses masih mengalami masa penyesuaian dengan keadaan didalam bahan baku yang akan diuraikan menjadi biomassa, baik dari segi nutrisi, pH, atau temperatur yang sesuai dengan tempat hidupnya. Selanjutnya, bakteri mengalami proses pertumbuhan yang begitu cepat sehingga akan dihasilkan produksi biogas maksimal oleh karena adanya pemanfaatan nutrisi yang baik oleh bakteri metanogenesis. Fase selanjutnya, bakteri mulai kekurangan nutrisi dimana jumlah bakteri yang tumbuh sama banyaknya dengan bakteri yang mati sehingga biogas yang dihasilkan cenderung konstan (tetap). Selanjutnya bakteri sudah mulai mati sehingga produksi biogas sudah mulai menurun. Proses diatas sesuai dengan kurva pertumbuhan mikroorganismenya, yang di dalamnya terdapat beberapa fase pertumbuhan mikroorganismenya, antara lain: *lag phase*, *exponential phase*, *logarithmic phase*, *stationer phase*, dan *death phase* (Soemarno, 2007).



Gambar 6.7. Kurva Pertumbuhan Mikroorganismenya

Dari gambar 6.7 diatas, dijelaskan bahawa terdapat 5 tahap atau fase yang dialami mikroba atau mikroorganismenya dalam proses pembentukan biomassa, yaitu :

1. *Lag Phase*

Mikroorganismenya mengalami masa penyesuaian dengan keadaan didalam bahan baku yang akan diuraikan menjadi biomassa, baik dari segi nutrisi, pH, atau temperatur yang sesuai dengan tempat hidupnya.

2. *Exponential Phase*

Didalam fasa ini, mikroorganismenya telah menyesuaikan diri dengan lingkungan tempat hidup dan mulai dengan cepat bereaksi dan memanfaatkan nutrisi yang ada didalam lingkungannya untuk diproses dan diubah menjadi suatu bentuk biomassa.

3. *Logarithmic Phase*

Mikroorganismenya mulai mengalami kekurangan nutrisi.

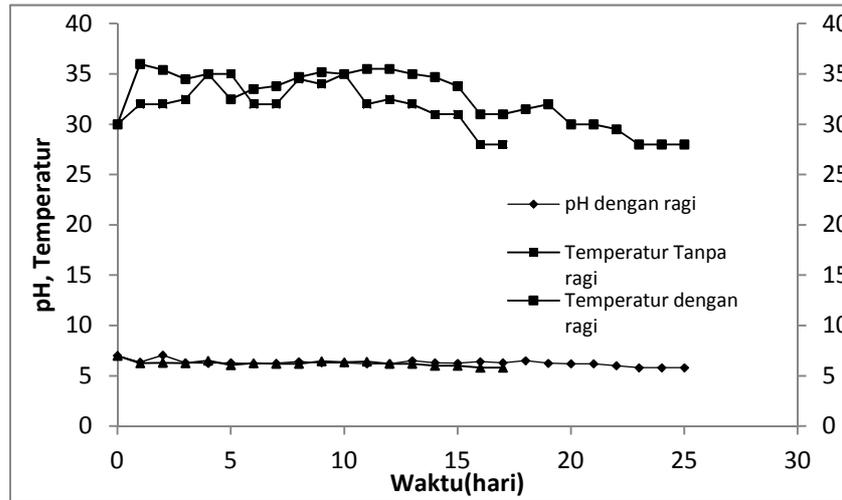
#### 4. Stationer Phase

Proses pembentukan biomassa mengalami tahap stabil cenderung menurun diakibatkan oleh jumlah kebutuhan nutrisinya berkurang.

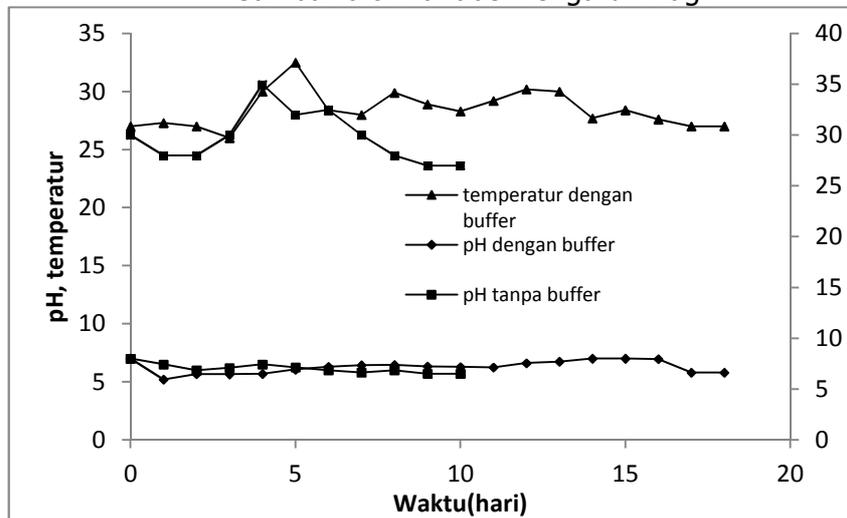
#### 5. Death Phase

Mikroorganisme tidak lagi menghasilkan biomassa dan mengalami kematian.

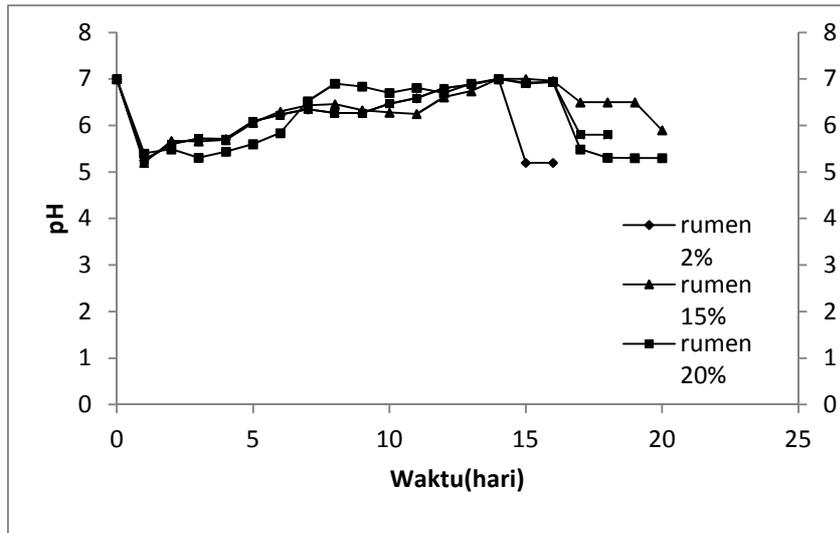
### 6.1.4. Karakteristik pH dan Temperatur Pada Masing-masing Variabel



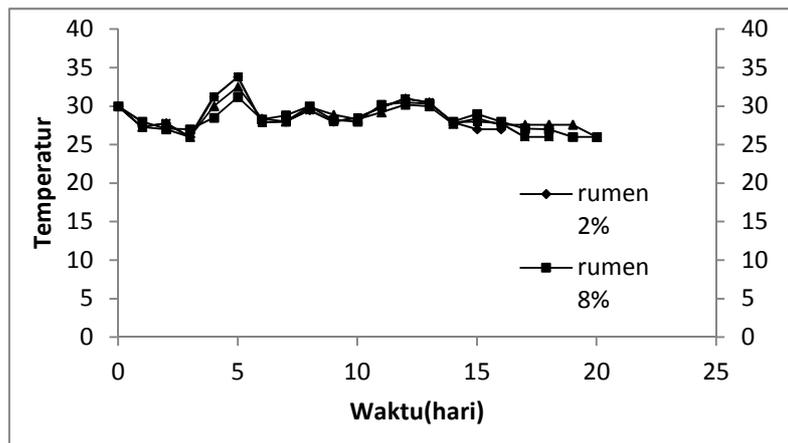
Gambar 6.8. Variabel Pengaruh Ragi



Gambar 6.9. Variabel Pengaruh  $\text{Na}_2\text{CO}_3$



Gambar 6.10. Karakter pH Variabel Rumen



Gambar 6.11. Karakter Temperatur Variabel Rumen

Dari gambar 6.10 dapat dilihat bahwa untuk variabel konsentrasi bakteri metanogenik (bakteri rumen) didapatkan hasil yaitu pada tangki 5 mempunyai rentang pH antara 5,25-7, tangki 6 mempunyai rentang pH antara 5,31-7, pada tangki 7 antara 5,2-7 dan tangki 8 antara 5,25-7. Dari gambar 4.8, untuk variabel pengaruh ragi tape (*Saccharomyces cereviceaea*) sebagai substrat aktivator didapatkan rentang pH antara 6-7. Sedangkan dari gambar 6.9, untuk variabel pengaruh buffer didapatkan rentang pH antara 6-7.

Pada waktu awal fermentasi, bakteri pembentuk asam akan menghasilkan asam dengan cepat sehingga dapat menyebabkan penurunan pH secara cepat pula. Pembentukan asam tersebut akan menghasilkan asam asetat, gas H<sub>2</sub>, dan beberapa VFA, seperti asam butirat dan propionat. Saat nilai pH rendah, maka mikroorganismenya akan berada dalam keadaan in-aktif

sehingga dapat mempengaruhi laju pembentukan biogas, khususnya bakteri metanogenik (Sterling Jr., M.C., 2001).

Bakteri metanogenik memiliki karakteristik antara lain membutuhkan kondisi anaerob, menghasilkan enzim *silanase actinobacteria* dan hanya dapat hidup pada kisaran pH yang sempit yaitu 5–7 (Polprasert. C, 1989). Bakteri yang pertama kali bekerja dalam proses perubahan polimer yang kompleks seperti karbohidrat adalah bakteri selulolitik atau bakteri hidrolitik lainnya. Bakteri selulolitik memecah atau memotong molekul selulosa yang merupakan molekul dengan berat yang tinggi menjadi *selulobiose* (glukosa) dan menjadi glukosa bebas (*free glucose*). Glukosa kemudian difermentasi secara anaerob menghasilkan bermacam-macam produk fermentasi seperti asetat, propionat, butirrat, H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. H<sub>2</sub> hasil dari fermentasi primer dengan segera dipakai oleh bakteri metanogenik (bakteri penghasil gas metan) yang merupakan bakteri terakhir yang digunakan dalam proses fermentasi anaerob. Selain itu, asetat juga dibutuhkan untuk perubahan menjadi metan dalam proses fermentasi anaerob oleh beberapa bakteri metanogenik.

Di sisi lain agar bakteri metanogenik mampu tumbuh dengan baik, diperlukan penambahan larutan *buffer* untuk meningkatkan alkalinitasnya. Pada penelitian ini, yang dipakai sebagai larutan *buffer* adalah Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (sodium karbonat). Laju pertumbuhan bakteri pembentuk asam berjalan lebih cepat dari pada laju pertumbuhan bakteri metanogenik, sehingga populasi dari bakteri metanogenik tidak cukup untuk mengkonsumsi jumlah asam yang diproduksi. Produksi asam yang berlebih di awal proses tersebut mampu menyebabkan penurunan pH menjadi di bawah pH netral (pH=7) secara signifikan. Hal itu menyebabkan laju pertumbuhan bakteri metanogenik menjadi berkurang. Akan tetapi, hal itu dapat ditangani dengan penambahan *buffer* Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> untuk meningkatkan alkalinitasnya. Bakteri metanogenik mampu tumbuh dengan baik pada kisaran pH 6,8-7,2 (Anunputtikul, 2004). Hubungan yang baik antara fase asidogenesis dan metanogenesis adalah saat berada pada kondisi netral yaitu pH=7 dan tidak ada peningkatan keasaman dan alkalinitas yang cukup drastis (Anunputtikul, 2004).

Jika ditinjau dari segi temperatur, maka dari gambar 6.11 dapat dilihat bahwa untuk variabel konsentrasi bakteri metanogenik (bakteri rumen) didapatkan hasil antara lain untuk tangki 5 mempunyai rentang temperatur antara 26-33,8<sup>0</sup>C, tangki 6 mempunyai rentang temperatur antara 27-31,2<sup>0</sup>C, pada tangki 7 antara 26-32,5<sup>0</sup>C dan pada tangki 8 antara 26-33,8<sup>0</sup>C. Sedangkan untuk variabel pengaruh ragi (*Saccharomyces cereviceae*) didapatkan hasil dengan rentang temperatur antara 29-36<sup>0</sup>C. Untuk variabel pengaruh *buffer* rentang temperaturnya antara 27-32,5<sup>0</sup>C.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa temperatur bersifat fluktuatif pada masing-masing tangki untuk tiap-tiap variabel dengan rentang yang berbeda-beda. Semua rentang temperatur tersebut masih berada pada rentang temperatur mesofilik yaitu antara 28-45<sup>0</sup>C.

## **7. PENUTUP**

### **7.1. Kesimpulan**

1. Laju produksi biogas digester (a) dengan komposisi limbah cair tapioka, kotoran sapi dan rumen lebih tinggi dibandingkan dengan digester (b) dengan komposisi limbah cair tapioka dan kotoran sapi tanpa rumen.
2. Untuk produksi biogas dengan menggunakan rumen, laju produksi paling tinggi terjadi pada digester 5 dengan komposisi 60% v limbah cair tapioka dan 40% v kotoran sapi.
3. Untuk produksi biogas tanpa menggunakan rumen, laju produksi paling tinggi terjadi pada digester 5 dengan komposisi 60% v limbah cair tapioka, dan 40% v kotoran sapi.
4. pH optimum dalam produksi biogas berada pada rentang 6,9-7,2.
5. Temperatur maksimum terjadi pada 29,5-33°C.

### **7.2. Saran**

1. Dalam melakukan penelitian perlu untuk memperhatikan kontrol awal terhadap digester terutama pada hari awal pembentukan biogas untuk menghindari kebocoran.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan jumlah variasi (*run*) penggunaan limbah peternakan yang lainnya seperti kotoran ayam/unggas, kotoran kuda dan kotoran babi agar dapat memanfaatkan limbah peternakan sebagai campuran penghasil biogas.

## 8. Pustaka Acuan

1. BPS, 2009, Produksi bahan-bahan pangan Indonesia.
2. Tonukari, N.J., 2004, Cassava and the future of starch, *Journal of Biotechnology*, Vol.7 No.1, Issue of April 15, 2004.
3. Sumardiono, S., Hadiyanto, A., Suherman., 2008, Eko-efisiensi Proses Produksi Tapioka di Klaster IKM Tapioka Desa Sidomukti, Kecamatan Margoyoso, Kabupaten Pati, Laporan Kegiatan GTZ-Jerman.
4. Sumardiono, S., Audra, Aryati,D., 2009, Eko-Efisiensi Air Limbah Proses Pengendapan Menjadi Air Proses dan Bahan Baku Bioethanol di Kecamatan Margoyoso, Kabupaten Pati, Laporan Penelitian PKM, DP2M-Dikti.
5. Cock, J.H., 1982, Cassava: a basic energy source in the tropics, *Science*, 1982, vol. 218, no. 4574, p. 755-762.
6. Anunputtikul, W., dan Rodtong, S., 2004, Laboratory Scale Experiments for Biogas Production from Cassava Tubers, The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)" 1-3 December 2004, Hua Hin, Thailand.
7. Padmasiri, S.I., Zhang, J., Fitch, M., Norddahl, B., Morgenroth, E., Raskin, L., (2007), Methanogenic population dynamics and performance of an anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) treating swine manure under high shear conditions, *Water Research* 41, 134 – 144.
8. Simamora, Suhut, Slaundik, Sri Wahyuni dan Surajudin, (2006), Membuat biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak dan Gas dari Kotoran Ternak, *Agro Media Pustaka*, Jakarta.
9. Budiyo, I N. Widiyasa, and Sunarso, (2007), Perkembangan Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Pemotongan Hewan (RPH) : *Overview*, Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, ITS Surabaya.
10. Burke, D.A., 2001, Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook, Environmental Energy Company, 6007 Hill Street Olympia, WA 98516, p. 17-27.
11. Manilal, V.B., Narayanan, C.S., dan Balagopalan, C., 1990, Anaerobic digestion of cassava starch factory effluent, *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 6, 149-154.
12. Saev, M., Koumanova,B., dan Simeonov, Iv., 2009, Anaerobic Co-Digestion of Wasted Tomatoes And Cattle Dung For Biogas Production, *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 44, 1, 2009, 55-60.
13. Speece, R.E., (1996), *Anaerobic Technology for Industrial Wastewaters*, Archae Press, USA.
14. Muryanto, J. Pramono, Suprpto, Ekaningtyas K., dan Sudadiyono, (2006), *Biogas, Energi Alternatif Ramah Lingkungan*. Cetakan 1, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jawa Tengah, Ungaran.
15. Mulyanto, A., dan Titiresmi, 2005, *Implementation of Anaerobic Process oOn Wastewater From Tapioca Starch Industries*, Laporan Penelitian BPPT, Puspiptek Serpong, Tangerang, Indonesia.
16. Budiyo, I N. Widiyasa, S. Johari, and Sunarso. 2010. The Kinetic of Biogas Production Rate from Cattle Manure in Batch Mode, *International Journal of Chemical and Biomolecular Engineering*, 3(1): 39-45, ISSN 2070-3805.
17. Budiyo, I. N. Widiyasa, S. Johari, dan Sunarso. 2010. The Influence of Total Solid Contents on Biogas Yield from Cattle Manure Using Fluid Rumen Inoculum, *Energy Research Journal*, 1(1):7-12, ISSN 1949-0151.

18. Budiyo, I N. Widiya, S. Johari, and Sunarso. 2009. Influence of Inoculum Content on Performance of Anaerobic Reactors for Treating Cattle Manure using Rumen Fluid Inoculum, *International Journal of Engineering and Technology*, 1(3):109-116, ISSN : 0975-4024.
19. Budiyo, T.D. Kusworo, A.F. Ismail, I.N. Widiya, S. Johari, and Sunarso, 2010. Synthesis and characterization of polyimide-zeolite mixed matrix membrane at medium polymer concentration for biogas purification, *International Journal of Basic & Applied Science*, 10(1):1-7.
20. Budiyo, I N. Widiya, S. Johari, and Sunarso. 2010. Increasing biogas production rate from cattle manure using rumen fluid as inoculums, *International Journal of of Basic & Applied Science*, 10(1): 68-75.
21. Budiyo, I N. Widiya, and Seno Johari. (2010). Study on treatment of slaughterhouse wastewater (SWW) by electro-coagulation technique, *International Journal of Science and Engineering*, 1(1):25-28 , ISSN:2086-5023.
22. T.D. Kusworo, A.F. Ismail, A. Mustafa, Budiyo, and Abdullah. 2010. Functionalization of Carbon Nanotubes using Silane Agent to Enhance the Biogas Purification Performance of Polyethersulfone Mixed Matrix Membrane, *International Journal of Engineering and Technology*, (*accepted*).
23. Budiyo, I. N. Widiya, S. Johari, dan Sunarso. 2009. The Influence of Total Solid Contents on Biogas Yield from Cattle Manure Using Fluid Rumen Inoculum. *Proceedings of International Symposium on Sustainable Energy and Environmental Protection (ISSEEP) 2009*. Yogyakarta, p. NRE 05.
24. Budiyo, T.D. Kusworo, A.F. Ismail, I.N. Widiya, S. Johari, and Sunarso, 2009. Polyimide-Zeolite Mixed Matrix Membrane (MMM) For Biogas Purification, *International Conference in Membrane Science and Technology*, University Technology of Malaysia, Kuala Lumpur
25. Budiyo, I. N. Widiya, S. Johari, dan Sunarso. 2009. Biogas Production Kinetic from Cow Manure using Liquid Rumen As Inoculum, *Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia (SNTKI)*, Bandung, ISBN: 978-979-98300-1-2.
26. Budiyo, I N. Widiya, and Sunarso, (2008), *Perkembangan Teknologi Pemisahan Untuk Pemurnian Biogas*, *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*, Universitas Diponegoro, Semarang
27. T.D. Kusworo, A.F. Ismail, Budiyo, I.N. Widiya, S. Johari, and Sunarso. 2008. CO<sub>2</sub> removal from biogas using carbon nanotubes mixed matrix membranes, *International Graduate Conference of Engineering and Science*, University Technology of Malaysia, Johor Bahru.
28. Sunarso. 2004. Ruminant Feed in the Integration of Animal-Dry Land Agriculture System. *Proc. of Mini Workshop Improving Dry Land Agriculture Systems*. DAAD-SEAG Indonesia, 24-26 May 2004. p:16-26.
29. Pujaningsih Retno Iswarin, Sunarso, Malik Adam, and Labiro Elhayat. 2005. Intensification Model for Cultivation System of Natural Feed from Anoa (*Bubalus sp.*) in Advance of Wildlife Conservation. *Proc. International Symposium "The Stability of Tropical Rainforest Margins: Linking Ecological, Economic and Social Constraints of Land Use Conservation"* Georg-August-University of Goettingen. Sept 19-23, 2005. p:137-138.
30. Sunarso dan Priyantini Widiyaningrum. 2005. Pengaruh Interval Pemberian Pakan terhadap Performans sapi Dara Peranakan Friesian, *Jurnal Sainteks* Vol. XII, No. 3 Juni 2005. p: 187-191.

31. Sudjatinah, Sunarso, dan C. Hari Wibowo. 2004. Pengaruh Tingkat Pemberian Vitamin B Kompleks dalam Ransum terhadap Tampilan Produksi Itik Jantan Periode Grower. Jurnal Sainteks Vol. XI, No. 2 Maret 2004. p: 90-96.
32. Sunarso. 2005. Strategi dan Model Penggemukan Sapi Potong dalam Konsep Zero-Waste, Prosiding Seminar Nasional Memacu Pembangunan Pertanian di Era Pasar Global. Balitbangda Prop. Jateng dan BPTP Jateng.
33. Zwietering, M.H., Jongenburger, F. M. Rombouts, dan K. Van 't Riet, 1990, Modeling of the Bacterial Growth Curve, Applied And Environmental Microbiology, Vol. 56, No. 6, p. 1875-1881.
34. Batstone, D.J., Keller, J., Newell, R.B., dan Newland, M., (2000), Modeling anaerobic degradation of complex wastewater. I: model development, Bioresource Technology, 75, Pages 67-74