



**SKRIPSI – TK141581**

**KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA PADA PROSES  
ANAEROBIK JERAMI PADI DENGAN INOKULASI  
MIKROORGANISME RUMEN**

**Oleh :**

**Veny Ulil Amrinah**

**NRP. 2311100017**

**Farah Amirotus Salma**

**NRP. 2311100084**

**Dosen Pembimbing :**

**Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng**

**NIP. 196110211986031001**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**



**SKRIPSI – TK141581**

**KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA PADA PROSES  
ANAEROBIK JERAMI PADI DENGAN INOKULASI  
MIKROORGANISME RUMEN**

**Oleh :**

**Veny Ulil Amrinah**

**NRP. 2311100017**

**Farah Amirotus Salma**

**NRP. 2311100084**

**Dosen Pembimbing :**

**Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng**

**NIP. 196110211986031001**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**



**SKRIPSI – TK141581**

**MASS TRANSFER COEFFICIENT PROCESS OF  
RICE STRAW BY ANAEROBIC  
MICROORGANISMS RUMEN INOCULATION**

**Oleh :**

**Veny Ulil Amrinah**

**NRP. 2311100017**

**Farah Amirotus Salma**

**NRP. 2311100084**

**Dosen Pembimbing :**

**Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng**

**NIP. 196110211986031001**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**

## LEMBAR PENGESAHAN

### KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA PADA PROSES ANAEROBIK JERAMI PADI DENGAN INOKULASI MIKROORGANISME RUMEN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

**Veny Ulil Amrinah**

**2311 100 017**

**Farah Amirotus Salma**

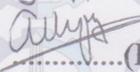
**2311 100 084**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng

.....(Pembimbing I)

2. Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng

.....(Penguji I)

3. Setiyo Gunawan, S.T., Ph.D

.....(Penguji II)

4. Dr. Lailatul Qadariyah, ST, MT

.....(Penguji III)

Surabaya, Juli 2015



# KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA PADA PROSES ANAEROBIK JERAMI PADI DENGAN INOKULASI MIKROORGANISME RUMEN

Nama /NRP :  
1.Veny Ulil Amrinah : NRP.2311 100 017  
2.Farah Amirotus S : NRP.2311 100 084  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng

## ABSTRAK

Sumber daya minyak dan gas alam dunia yang berasal dari energi fosil semakin berkurang. Sehingga pengembangan penelitian sumber energi alternatif semakin sering dilakukan, salah satunya adalah produksi metana secara anaerobik. Metana menghasilkan rasio energi output/input yang cukup besar yaitu 28 Mj/Mj. Akan tetapi produksi biogas dari biomassa yang mengandung selulosa, lignoselulosa dan hemiselulosa masih banyak mengalami kendala karena sulitnya tiga polymer tersebut dipecah oleh bakteri penghasil metana.

Tahap pertama dalam penelitian adalah persiapan jerami padi dan cairan rumen kemudian tahap kedua melakukan pre treatment dengan komposisi 17% air, 37% cairan rumen, 46% jermai padi . Tahap selanjutnya yaitu melakukan Fermentasi anaerobik selama 21 hari dengan suhu 30°C pada volume kerja reactor sebesar 3.7 l. Sedangkan untuk Tahap penelitian koefisien perpindahan massa pertama yaitu mempersiapkan hasil fermentasi anaerobic kemudian diukur O<sub>2</sub> terlarut dengan DO meter kemudian dihitung koefisien perpindahan massa CH<sub>4</sub>.

Hasil menunjukkan bahwa kandungan CH<sub>4</sub> pada variable 5% volume rumen terbesar sebesar 29215.2 ppm, kandungan CH<sub>4</sub> pada variable 10% volume rumen terbesar sebesar 26555 ppm,dan kandungan CH<sub>4</sub> pada variable 10% volume rumen terbesar sebesar 56484 ppm. Untuk penelitian koefisien perpindahan massa ( $k_{L,a}$ ) pada variable volume rumen 5% untuk variable tanpa pengadukan didapatkan ( $k_{L,a}$ ) sebesar 5.406 h<sup>-1</sup>,

untuk pengadukan 10 RPM didapatkan ( $k_{L,A}$ ) sebesar  $5.556 \text{ h}^{-1}$ , dan untuk pengadukan 10 RPM didapatkan ( $k_{L,A}$ ) sebesar  $5.18 \text{ h}^{-1}$ . Untuk variable volume rumen 10% untuk variable tanpa pengadukan didapatkan ( $k_{L,A}$ ) sebesar  $4.205 \text{ h}^{-1}$ , untuk pengadukan 10 RPM didapatkan ( $k_{L,A}$ ) sebesar  $5.481 \text{ h}^{-1}$ , dan untuk pengadukan 10 RPM didapatkan ( $k_{L,A}$ ) sebesar  $5.71 \text{ h}^{-1}$ . Dan untuk variable volume rumen 15% untuk variable tanpa pengadukan didapatkan ( $k_{L,A}$ ) sebesar  $5.481 \text{ h}^{-1}$ , untuk pengadukan 10 RPM didapatkan ( $k_{L,A}$ ) sebesar  $5.631 \text{ h}^{-1}$ , dan untuk pengadukan 10 RPM didapatkan ( $k_{L,A}$ ) sebesar  $6.16 \text{ h}^{-1}$ .

**Kata Kunci :** Fermentasi anaerobik, Jerami Padi, *Lignoselulose biomass*, Koefisien perpindahan massa, Mikroba rumen

# **MASS TRANSFER COEFFICIENT PROCESS OF RICE STRAW BY ANAEROBIC MICROORGANISMS RUMEN INOCULATION**

Nama /NRP :  
1.Veny Ulil Amrinah : NRP.2311 100 017  
2.Farah Amirosus : NRP.2311 100 084  
DosenPembimbing : Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng

## **ABSTRACT**

Resources of oil and natural gas that comes from the world of diminishing fossil energy. So the research development of alternative energy sources are increasingly being carried out, one of which is the production of methane by anaerobic. Methane yields an energy output / input that is large enough that 28 Mj / Mj. However, the production of biogas from biomass containing cellulose, lignocellulose and hemicellulose are still many experienced problems because of the difficulty of the three polymers are broken down by bacteria producing methane. In this study, conducted a study to determine the mass transfer coefficient in the process of anaerobic microorganisms in rumen fluid inoculation against methane production process from raw materials containing lignocellulose biomass rice straw .

The first step in the research is the preparation of rice straw and rumen fluid then the second stage did pre-treatment with a composition of 17% water, 37% rumen fluid, 46% rice straw. The next stage is anaerobic fermentation for 21 days at a temperature of 30°C in a reactor working volume of 3.7 L. As for the research the first mass transfer coefficient is to prepare the result of dissolved O<sub>2</sub> of the anaerobic fermentation measured with a DO meter then calculated the mass transfer coefficient of CH<sub>4</sub>. Results showed that the content of CH<sub>4</sub> in the variable 5% rumen volume amounted to 29215.2 ppm, the content of CH<sub>4</sub> in the rumen volume variable 10% of 26 555 ppm, and the content

of CH<sub>4</sub> in the rumen volume variable 10% of 56484 ppm. To study the mass transfer coefficient ( $K_{L,a}$ ) in the variable volume of 5% for variable rumen without stirring obtained ( $K_{L,a}$ ) of 5.406 h<sup>-1</sup>, for stirring 10 RPM obtained ( $K_{L,a}$ ) of 5.556 h<sup>-1</sup>, and for stirring 10 RPM obtained ( $K_{L,a}$ ) at 5.18 h<sup>-1</sup>. And variable rumen 10% for variable without stirring obtained ( $K_{L,a}$ ) of 4.205 h<sup>-1</sup>, for stirring 10 RPM obtained ( $K_{L,a}$ ) of 5.481 h<sup>-1</sup>, and for stirring 10 RPM obtained ( $K_{L,a}$ ) of 5.71 h<sup>-1</sup>. And for variable volume 15% for variable rumen without stirring obtained ( $K_{L,a}$ ) of 5.481 h<sup>-1</sup>, for stirring 10 RPM obtained ( $K_{L,a}$ ) of 5.631 h<sup>-1</sup>, and for stirring 10 RPM obtained ( $K_{L,a}$ ) of 6.16 h<sup>-1</sup>.

**Key Words :** *Anaerobik digestion, Lignoselulose biomass, Mass Transfer Coefficient, Rice Straw, Rumen Fluid Microorganism*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul :

### **“KOEFSIEN PERPINDAHAN MASSA PADA PROSES ANAEROBIK JERAMI PADI DENGAN INOKULASI MIKROORGANISME RUMEN “**

Setelah hampir dua tahun menjalani Tahap Sarjana Program Studi (S1) Jurusan Teknik Kimia, akhirnya kami sampai ditahap akhir yaitu penyusunan skripsi ini dengan harapan kami semakin dapat mengupgrade diri melalui penelitian yang kami lakukan serta untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan dari Tahap Sarjana Program Studi (S1) Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama melakukan penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini, kami mendapat doa, bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng, Dosen Pembimbing sekaligus Kepala Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember atas bimbingan, kritik dan saran yang telah diberikan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng. selaku Kepala Laboratorium Teknologi Biokimia Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
4. Seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis
5. Orang tua serta saudara-saudara kami, atas doa, bimbingan, perhatian, dan kasih sayang yang selalu tercurah tanpa batas selama ini.

6. Keluarga besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), teman-teman di Laboratorium Biokimia Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, khususnya teman-teman LJ Ganjil 2013 atas semua dukungan, semangat, serta kerjasamanya.

Kami menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini, yang membutuhkan saran dan kritik yang konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini.

Surabaya , Juni 2015

Penyusun

# DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	
Abstrak (Indonesia) .....	i
Abstrak (English) .....	iii
Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Tabel .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I. 1 Latar Belakang .....	1
I. 2 Perumusan Masalah .....	5
I. 3 Tujuan Penelitian .....	6
I. 4 Manfaat Penelitian .....	6
I. 5 Batasan Masalah .....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
II. 1 Jerami Padi .....	9
II.2 Proses Pretreatment Bahan Berlignoselulos .....	11
II. 3 Rumen Fluid .....	13
II. 4 Metana dan Sumber Penghasil Metana .....	16
II. 5. Mekanisme Produksi Metana Secara Anaerob di dalam Rumen .....	23
II. 6. Faktor Umum Yang Berpengaruh dalam Proses Anaerobik .....	26
II. 7. Koefisien Perpindahan Massa .....	31
II. 8. Metode Untuk Meningkatkan Produksi Biogas .....	33
II.9. Hasil Penelitian Sebelumnya .....	34
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
III.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	39
III.2. Bahan dan Alat Penelitian .....	39
III.3 Variabel Penelitian dan Kondisi Operasi .....	39
III.4 Tahapan Metodologi Penelitian .....	41

III.5 Fermentasi Anaerobik.....	41
III.6 Tahap Koefisien Perpindahan Massa.....	44
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
IV.1 Kurva Pertumbuhan Bakteri Terhadap Produksi Biogas.....	51
IV.2. COD (Chemical Oxygen Demand .....	56
IV.3 Pengaruh VFAs terhadap Kandungan Biogas .....	58
IV.4 Kandungan Metana.....	61
IV.5 Pengaruh VS & TS .....	68
IV.6 Koefisien Perpindahan Massa Pada Proses Fermentasi Anaerobik .....	70
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
V.1 Kesimpulan .....	73
V.2 Saran .....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>DAFTAR NOTASI</b>	
<b>APPENDIKS</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Komposisi Jerami Padi dan Nutrisi Jerami Padi.....	9
Tabel II.2	Perbandingan Rate Degradasi Selulosa Pada Berbagai Kondisi.....	12
Tabel II.3	Komposisi Mikroorganisme Cairan Rumen.....	14
Tabel II.4	Bakteri Utama Rumen.....	15
Tabel II.5	Komposisi Ra-rata Properti dari CH <sub>4</sub> Pada Sumber Biogas Yang Berbeda.....	17
Tabel II.6	Karakteristik Metanogenesis.....	21
Tabel II.7	Substrat untuk Bakteri Methanogenesis di dalam Rumen.....	22
Tabel II.8	Pendekatan Kasar Tipe Sludge dan SVI .....	35
Tabel III.1	Variabe; Waktu Sampling.....	40
Tabel IV.1	Kla Setiap Viskositas dan Rpm.....	72



## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Struktur Molekul Selulosa .....	10
Gambar II.2. Struktur Molekul Hemiselulosa .....	10
Gambar II.3. Struktur Molekul Lignin (Sjöström 1993; Fengel & Wegener 1989).....	11
Gambar II. 4. Macam-Macam Enzyme Pendeградasi Lignin.....	13
Gambar II.5. Rumen dan Tampak Samping Perut Sapi (Takeneka, 2008) .....	14
Gambar II.6. Estimasi Sumber Metana .....	16
Gambar. II.7. Tahapan Proses Anaerobik Yang Sinergis dan Berkesinambungan (Yadvika dkk., 2004).....	20
Gambar II.8. Mekanisme produksi metana di dalam rumen (Takeneka, 2008).....	23
Gambar II. 9. Struktur Gula (Takeneka, 2008) .....	24
Gambar II.10. Teori lapisan film model perpindahan massa pada gas-liquid interface.....	32
Gambar III.2. Diagram Alir Penelitian Koefisien Perpindahan Massa .....	44
Gambar III.3. . Skema Alat Penelitian untuk fermentasi anaerobik ( <i>Corro dkk., 2013; Yue dkk., 2013</i> )..	45
Gambar III.4. Skema Alat Penelitian untuk Koefisien Perpindahan Massa.....	45
Gambar III.5 Penentuan titik hitung pada hemasitometer .....	46
Gambar IV-1. Kurva Pertumbuhan Bakteri pada variable Rumen 5%.....	54
Gambar IV-2. Kurva Pertumbuhan Bakteri pada variable Rumen 10.....	54
Gambar IV-3. Kurva Pertumbuhan Bakteri pada variable Rumen 15%.....	55
Gambar IV-4. Grafik COD pada variable Rumen 5%.....	57
Gambar IV-5. Grafik COD pada variable Rumen 10%.....	57
Gambar IV-6. Grafik COD pada variable Rumen 15%.....	58

Gambar IV-7. Grafik VFAs pada variable Rumen 5%.....	59
Gambar IV-8. Grafik VFAs pada variable Rumen 10%.....	60
Gambar IV-9. Grafik VFAs pada variable Rumen 15%.....	60
Gambar IV-10. Grafik kandungan Biogas vs waktu fermentasi ( Deublin).....	67
Gambar IV-11. Grafik TS.....	69
Gambar IV-12. Grafik VS.....	69



## DAFTAR NOTASI

NOTASI	KETERANGAN	SATUAN
$C^*$	Konsentrasi jenuh larutan	mg/l
$C$	Konsentrasi larutan	mg/l
$D_{O_2-w}$	Diffusivitas oksigen – water	$cm^2/s$
$D_{CH_4-w}$	Diffusivitas metana – water	$cm^2/s$
$k_L a$	Koefisien Perpindahan Massa	$h^{-1}$
COD	Chemical Oxygen Demand	mg/l
$\mu$	Viskositas	centistoke

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



**Veny Ulil Amrinah**, anak pertama dari dua bersaudara yang lahir di Oktober pada tanggal 07 Oktober 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Tebaloon (1999-2005), SMP Negeri 2 Kebomas (2005-2008), dan SMA Negeri 1 Kebomas (2008-2011). Lalu penulis melanjutkan perguruan tinggi di S1 Teknik Kimia FTI-ITS (2011-2015). Penulis pernah aktif di Badan Eksekutif Mahasiswa FTI-ITS (2012-2013) sebagai Staf Sosial dan Masyarakat. Penulis juga pernah kerja praktek di PT. Petrokimia. Untuk menghubungi penulis dapat email ke [veny.ulil@gmail.com](mailto:veny.ulil@gmail.com). Penulis memilih Laboratorium Teknologi Biokimia untuk melakukan penelitian dengan judul:

**“Koefisien Perpindahan Massa Pada Proses Anaerobik Jerami Padi dengan Inokulasi Mikroorganisme Rumen”**

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Farah Amirotus Salma dilahirkan di Jombang, Jawa Timur pada tanggal 26 Mei 1993. Penulis merupakan putri kedua dari empat bersaudara dari pasangan Said Hasan dan Siti Sufiyati. Penulis mulai menempuh pendidikan formal di SDN Ceweng 1, lalu SMPN 2 Jombang , dilanjutkan ke SMAN 2 Jombang. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Program Studi S1

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya. Penulis melakukan risetnya di Laboratorium Teknologi Biokimia di bawah bimbingan Setiyo Gunawan, ST, Ph.D hingga kemudian melakukan penelitian yang berjudul:

**“KOEFSISIEN PERPINDAHAN MASSA PADA PROSES ANAEROBIK JERAMI PADI DENGAN INOKULASI MIKROORGANISME RUMEN”**

Untuk keterangan lebih lanjut mengenai penulis, dapat dilakukan melalui email [farahsalma93@gmail.com](mailto:farahsalma93@gmail.com) atau melalui telepon 0857-3080-4170.

# BAB I PENDAHULUAN

## I.1 . Latar Belakang

Sumber daya minyak dan gas alam dunia yang berasal dari energy fosil semakin berkurang. Maka dibutuhkan sumber energi lain sebagai alternative pengganti. Biomass adalah potensi terbesar sebagai alternative sumber energy terbarukan, dan menjadi pilihan terbaik untuk menjamin energy masa depan yang berkelanjutan (Corro dkk., 2013).

Produksi biofuel sebagai sumber energy terbarukan berhubungan secara khusus pada material biomass yang mengandung lignoselulosa. Lignoselulosa mampu menawarkan sumber potensial untuk menghasilkan novel biofuels generasi kedua (Simson dkk., 2007).

Produksi hydrogen, gas alam, bio-oil, biogas, alcohol, biodiesel dari sumber biomassa terbarukan menjadi topik utama diseluruh dunia dengan prospeknya sebagai pengganti fossil fuel dan kemampuannya untuk mengurangi polusi udara (Corro dkk., 2007).

Produksi metana dari berbagai limbah biologis dengan metode anaerobik sampai saat ini terus dipakai luas diseluruh dunia dengan tujuan ekonomis dan manfaatnya pada lingkungan (Corro dkk., 2013). Fermentasi metana adalah teknologi paling efisien untuk menghasilkan energi dari biomass dalam hitungan ratio energi output/input 28.8 (MJ/MJ) dari semua teknologi yang dipakai dalam menghasilkan energi melalui cara biologis dan thermokimia (Deublein dkk., 2008).

Gas metana adalah bahan bakar yang bisa dihasilkan dari proses anaerobik. Proses anaerobik adalah proses degradasi limbah organik terkendali tanpa oksigen dan melibatkan mikroorganisme anaerobik (Ojolo dkk., 2007) yang menghasilkan metana, karbon dioksida dan menghasilkan pupuk kompos untuk memperbaiki lahan pertanian (Koberle dkk., 1995). Proses ini adalah teknologi yang paling efektif untuk mengurangi limbah organik dan menghasilkan energi (Ueno dkk., 2007).

Limbah biologis yang biasa digunakan untuk menghasilkan metana dengan proses anaerobik adalah kotoran sapi. Hal ini dikarenakan kotoran sapi berisi sejumlah bakteri yang mampu menghasilkan gas metana tetapi memiliki sedikit kandungan selulosa, hemiselulosa, lignin dan bahan organik lain yang esensial untuk pertumbuhan bakteri (Corro dkk., 2013). Kotoran sapi mengandung beberapa mikroorganisme seperti *Clostridium*, *Porphyromonas*, *Bacteriodes*, *Bifidobacterium*, *Ruminococcus*, *Alistipes*, *Lachnospiraceae*, *Prevotella*, *Lacnospira* dll. (Dowd dkk., 2008). Kotoran sapi juga mengandung beberapa bakteri pathogen seperti *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Shigella spp.*, *Klebsiella spp.*, dll. (Alfa dkk., 2014). Biogas yang dihasilkan kotoran sapi mengandung senyawa sulfur seperti H<sub>2</sub>S yang cukup tinggi (Corro dkk., 2013).

Biomass dari limbah pertanian juga bisa digunakan dalam memproduksi metana. Limbah biomass dari bahan pangan (minyak dan karbohidrat sederhana) seperti jagung, tebu, atau non-pangan seperti dedaunan, batang pohon, pulp kopi dan sekam bisa digunakan dalam proses anaerobik, menggunakan mikroorganisme khusus sebagai pre-treatment awal dari limbah untuk menaikkan yield metana dan stabilitas produk akhir. Penggunaan sisa industri pangan dalam bioproses, bisa mengurangi pencemaran lingkungan (Brand dkk., 2000; Pandey

dkk., 2000). Energi yang dihasilkan dari biomass adalah teknologi yang penting untuk keberlanjutan produksi energi terbarukan (Baba dkk., 2013).

Produksi metana menggunakan biomassa memiliki beberapa kendala yang bisa menghambat proses methanogenesis. Hambatan terjadi karena biomassa selulosa terdiri dari tiga buah polymer yang berdekatan : selulosa, hemiselulosa dan lignin (Hendriks dan Zeman, 2009). Derivat lignin dengan grup aldehidnya atau substituent polarnya bersifat sangat beracun pada proses metanogens (Chen dkk., 2008). Karena keberadaan ikatan kuat pada molekul-molekul polymer tersebut membentuk physical barrier dan mencegah terjadinya adsorpsi oleh enzim hidrolisis (Zhu dan Pan, 2010). Dan menurut Fox dan Noike (2004) kecepatan hidrolisis dari selulosa begitu rendah sehingga yield metana yang dihasilkan rendah. Hasil penelitian sebelumnya dengan menggunakan biomassa dari pulp kopi yang dicampur dengan kotoran sapi, kecepatan konversi metana pada substrat campuran pulp kopi dengan kotoran sapi sangat rendah, dalam 1,5 bulan pertama masih dibawah 10 % dan 2 bulan *digestion time* masih sekitar 30 % (Corro dkk., 2013).

Namun adanya kendala dalam proses produksi metana bisa diatasi dengan melakukan pre-treatment awal yang dibutuhkan untuk menghilangkan hambatan fisik dari bahan baku biomassa (Baba dkk., 2011) dan dengan penambahan bakteri, karena proses anaerobik dengan biomassa membutuhkan bakteri dengan konsentrasi tinggi. Bakteri pertama-tama akan mendegradasi komponen komponen beracun (seperti tannin dan fenol), dan baru kemudian menghasilkan metana (Corro dkk., 2013).

Pada penelitian ini, model sebagai biomassa selulosa yang digunakan adalah jerami padi. Jerami padi mengandung

37.71 % selulosa; 21,99 % hemiselulosa; 16.62 % lignin (dewi, 2002). Pada tahun 2010, Departemen Pertanian memperkirakan jumlah jerami yang dihasilkan lahan sawah se Indonesia adalah 84 juta ton jerami. Pemanfaatan jerami ini selain sebagai pakan ternak dan pupuk organik masih bisa diambil gas metana nya untuk sumber energi terbarukan (Trubus, 2010). Namun kenyataannya jerami padi masih sering dibakar oleh para petani karena belum bisa memanfaatkannya sebagai sumber energi terbarukan.

Metode pre-treatment yang dipakai dalam produksi metana dari biomass diantaranya mekanis (*mill, shredder*), kimia (*chemical*), dan thermal (*wet oxidation*) (Fox dan Noike, 2004; Lin dkk., 2009; Tong dkk., 1990; Ueno dkk., 2007; Yen dan Brune, 2007). Pre-treatment tersebut bisa memperbaiki *aksesability* dan *biodegradability* selulosa (Baba dkk., 2013). Selain metode diatas metode pre-treatment dengan cairan rumen juga dipakai dalam penelitian sebelumnya. Dan menghasilkan konversi metana sebesar 73.4% walaupun tanpa pretreatment mekanis, thermal, dan kimia (Baba dkk., 2013).

Cairan rumen adalah limbah dari Rumah Potong Hewan (RPH). Potensi limbah cairan rumen di RPH Pegirian Surabaya adalah 260 ekor sapi (rata-rata yang dipotong tiap hari) x 200 L = 5200 liter/hari atau dalam satu bulan sekitar 7800 ekor sapi atau 1.560.000 liter/per bulan ([www.kanalsatu.com](http://www.kanalsatu.com)), di Jepang limbah cairan rumen yang harus diolah sebanyak 116.000 ton tiap tahun, dan membutuhkan biaya tinggi dalam pengolahannya (Takeneka, 2008). Limbah cairan rumen yang dibiarkan begitu saja adalah salah satu sumber metana. Metana yang berasal dari proses enteric fermentation / hewan ternak, adalah salah satu sumber dari green house gas (GHG) (Takeneka, 2008). Potensi efek gas rumah kaca yang dihasilkan oleh oleh metana 23x lebih kuat dari

efek yang ditimbulkan oleh Karbondioksida. Sehingga cairan rumen sangat baik jika diolah dan dimanfaatkan dalam proses produksi biogas dari bahan berlignoselulosa karena biayanya murah dan jumlahnya melimpah.

Untuk mendapatkan konversi biogas yang maksimal, dalam hal ini dipengaruhi oleh koefisien perpindahan massa. Koefisien perpindahan massa volumetric  $k_{LA}$ , adalah kecepatan spesifik dari perpindahan massa (gas terabsorpsi per unit waktu, per unit luas kontak per unit beda konsentrasi).  $k_{LA}$  tergantung pada sifat dari sistem dan dinamika fluida.

## **I.2. Perumusan Masalah**

Dari uraian latar belakang diatas, maka bisa dirumuskan permasalahan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proses produksi metana menggunakan biomassa cenderung lambat dan menghasilkan *yield* yang rendah, dan membutuhkan sejumlah bakteri dengan konsentrasi tinggi. Oleh karena itu perlu dipelajari metode pre-treatment yang tepat dalam mengatasi kendala tersebut dengan membandingkan kultur *mikroorganisme cairan rumen*
2. Produksi biogas dari bahan berlignoselulosa membutuhkan biaya pretreatment yang lebih tinggi; seperti harga enzyme yang lebih mahal, pemakaian steam dan alkaline, penggunaan air yang cukup banyak dalam proses hidrolisisnya.
3. Limbah cairan rumen yang dibuang begitu saja akan mencemari lingkungan dan menghasilkan gas metana yang berbahaya bagi ozone sebagai efek gas rumah kaca.
4. Koefisien perpindahan massa berpengaruh pada proses fermentasi anaerobik.

### **I.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Memproduksi metana dari jerami padi dengan pre-treatment dan inokulasi *mikroorganisme cairan rumen (novel application of rumen fluid)*
2. Mengetahui pengaruh mikroorganisme cairan rumen pada fermentasi anaerobic
3. Mengetahui pengaruh koefisien transfer massa terhadap kandungan metana yang dihasilkan

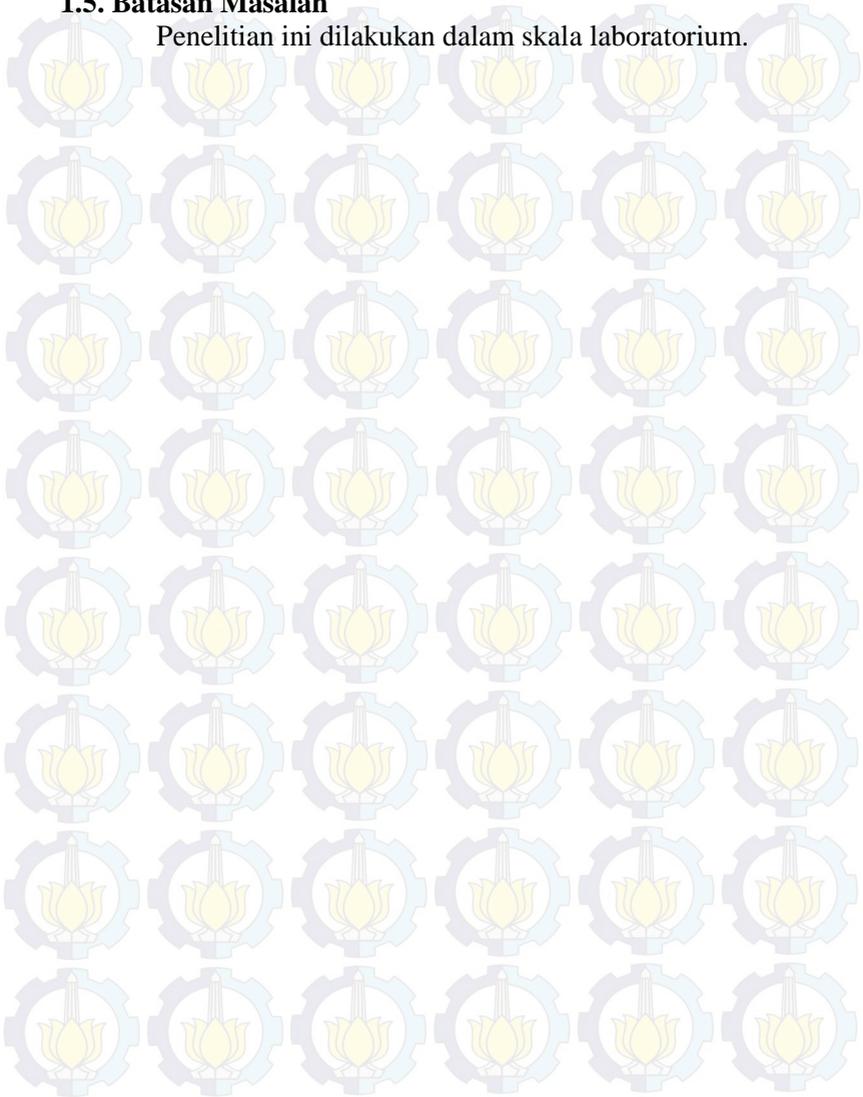
### **I.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang akan didapatkan dalam penelitian ini adalah:

1. Memberikan solusi terhadap permasalahan limbah jerami yang sangat melimpah untuk menopang keberlangsungan pemenuhan kebutuhan energi terbarukan yang semakin meningkat akhir-akhir ini.
2. Memanfaatkan limbah cairan rumen yang biayanya murah dan jumlahnya melimpah sebagai bahan baku produksi biogas daripada menggunakan metode pre-treatment lainnya yang lebih mahal.
3. Mengatasi gas rumah kaca dan memberikan dampak kesehatan yang baik pada lingkungan. Karena limbah cairan rumen yang dibuang begitu saja akan mencemari lingkungan dan menghasilkan gas metana yang berbahaya bagi ozone.
4. Sisa atau residu dari jerami padi yang dimanfaatkan dalam proses anaerobik akan menghasilkan pupuk kompos yang sangat bagus untuk lahan pertanian. Sehingga sangat membantu petani dalam memenuhi kebutuhannya pada pupuk.
5. Menghasilkan gas metana dengan kualitas yang bagus

### 1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium.





\* Halaman ini sengaja dikosongkan \*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1. Jerami Padi

Indonesia adalah salah satu penghasil padi yang cukup besar di dunia, dan limbah jerami padi kering yang dihasilkan mencapai 180 juta ton tiap tahunnya (Sabiham dan Mulyanto, 2005). Potensi jerami sebagai bahan baku energi biomassa masih sangat besar di Indonesia. Karena pemanfaatannya sebagai pakan ternak hanya mencapai 31 - 39 %, sedangkan yang dibakar atau dikembalikan ke tanah sebagai pupuk 36 - 62 %, dan sekitar 7 - 16 % digunakan untuk keperluan industri (Abdullah, 2008).

Jerami padi terdiri dari tiga bagian yaitu helai daun, pelepah daun dan batang yang dapat dibagi lagi atas ruas dan buku yang proporsinya sangat kecil. Proporsi helai daun adalah 15-27%, pelepah daun 23-30% dan ruas adalah 15-37% (Sitorus, 2002). Jerami padi memiliki komposisi seperti pada Tabel II.1. dibawah ini:

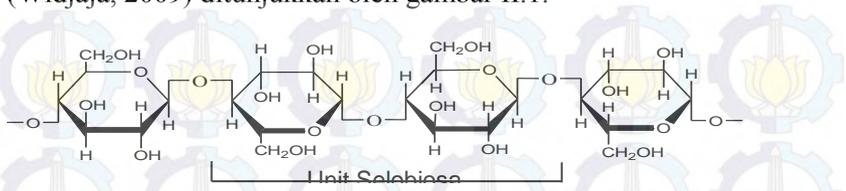
Tabel II.1. Komposisi Jerami Padi dan Nutrisi Jerami Padi

Keterangan	Komposisi
Selulosa (%)	37.71
Hemiselzulosa (%)	21.99
Lignoselulosa (%)	16.62
EM (Kkal/kg)	3.799,00
Bahan kering (%)	92,00
Protein Kasar (%)	5,31
Lemak Kasar (%)	3,32
Serat Kasar (%)	32,14
Abu (%)	22,25

Sumber: Dewi (2002) , Sarwono dan Arianto ( 2003).

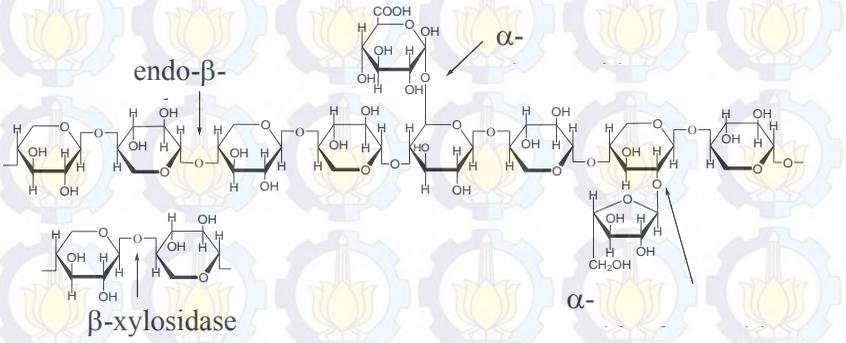
Selulosa ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> adalah bagian utama tanaman, berupa homopolisakarida dengan derajat polimerisasi n. Derajat

polimerisasi untuk selulosa tumbuhan adalah 305 sampai 15.300 (Widjaja, 2009) ditunjukkan oleh gambar II.1.



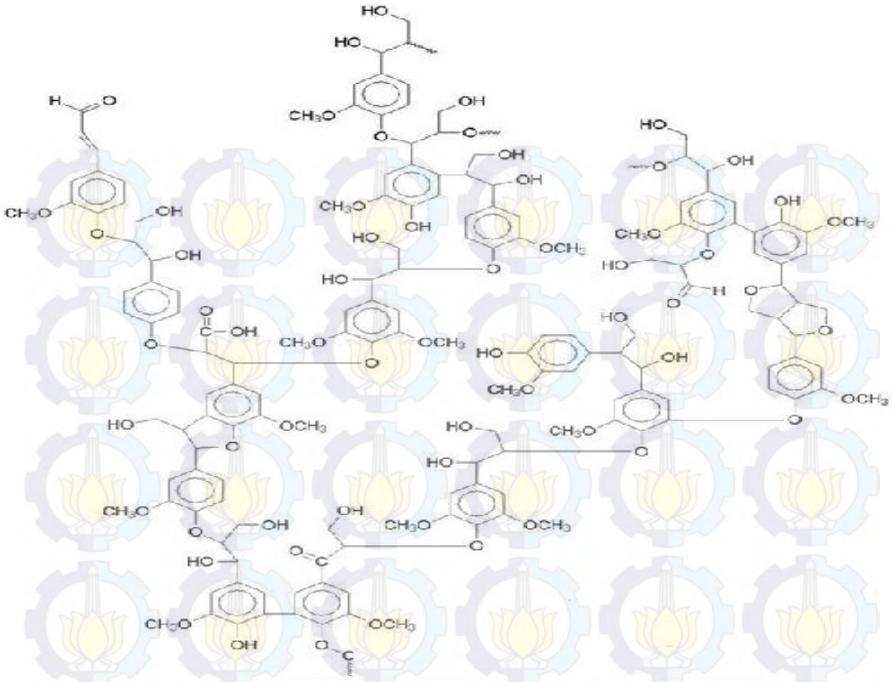
**Gambar II.1.** Struktur Molekul Selulosa

Hemiselulosa adalah polimer dengan rantai yang relative lebih pendek dan bercabang, terdiri dari monomer-monomer seperti xylosa, arabinosa, glukosa, manosa, dan galaktosa dengan struktur amorf (Bailey dan Ollis, 1986). Hemiselulosa berfungsi sebagai pendukung dinding sel dan sebagai perekat. Struktur polimer hemiselulosa ditunjukkan oleh Gambar II.2.



**Gambar II.2.** Struktur Molekul Hemiselulosa

Lignoselulosa adalah polimer yang amorf dengan berat molekul yang besar dan struktur yang kompleks. Lignoselulosa lebih tahan terhadap serangan jamur, bakteri dan proses hidrolisis oleh asam (Widjaja, 2009). Gambar II.3. menunjukkan struktur polimer lignin.



**Gambar II.3.** Struktur Molekul Lignin (Sjöström 1993; Fengel & Wegener 1989).

Selulosa adalah penguat batang tanaman, lignoselulosa berfungsi melindungi selulosa dari kerusakan kimiawi dan biologis, sedangkan hemiselulosa adalah pengikat keduanya (Lee, 1992).

## II.2. Proses Pretreatment Bahan Berlignoselulosa

Proses pretreatment diperlukan untuk mempermudah degradasi bahan berlignoselulosa, hemiselulosa dan selulosa sehingga mudah dihidrolisis dan difermentasikan secara anaerobik untuk menghasilkan metana.

Proses degradasi bahan berlignoselulosa dari limbah pertanian dipengaruhi oleh komposisi substrat limbah, kristalinitas selulosa dan ukuran partikel. Proses pretreatment yang dilakukan adalah secara mekanis dan kimiawi. Contoh

pretreatment mekanis yang dipakai adalah milling dan attrition. Pretreatment kimiawi bertujuan untuk menghancurkan ikatan lignin sehingga komponen hemiselulosa dan selulosa lebih mudah didegradasi. Beberapa pretreatment kimiawi bahan diantaranya adalah pretreatment asam dan pre treatment basa dan pretreatment ammonia (Mosier dkk., 2005). Pretreatment thermal dilakukan dengan wet oxidation (Fox dan Noike, 2004).

Selain menggunakan pretreatment kimiawi dan mekanis, pretreatment biologis juga dipakai dalam proses degradasi lignoselulosa. Salah satu pretreatment biologis yang dipakai adalah penggunaan rumen fluid atau cairan rumen (Baba dkk. 2013).

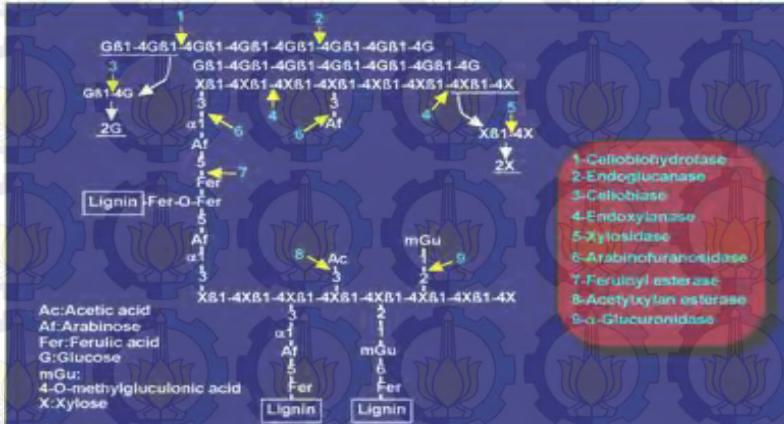
Contoh perbandingan kecepatan degradasi selulosa setelah produksi metana pada kondisi dan pretreatment yang berbeda ditunjukkan dalam Tabel dibawah ini.

Tabel II.2. Perbandingan Rate Degradasi Selulosa Pada Berbagai Kondisi

Pretreatment	Kondisi	Biomassa	Degradation Rate (%)	Peneliti
Tanpa Pretreatment	-	Pulp, paper sludge	25	Lin dkk. (2011)
Kimiawi (alkali)	37°C, 6 Jam	Pulp, paper sludge	65,35	Lin dkk. (2009)
Thermal (Wet Oxidation)	190°C, 1 jam	Newspaper	88	Fox dan Noike (2004)
Biologis (Rumen Fluid)	37°C, 6 Jam	Lmbah Kertas	87.9	Baba dkk. (2013)
	37°C, 24 Jam	Limbah Kertas	85.8	

Sumber : Baba dkk. (2013)

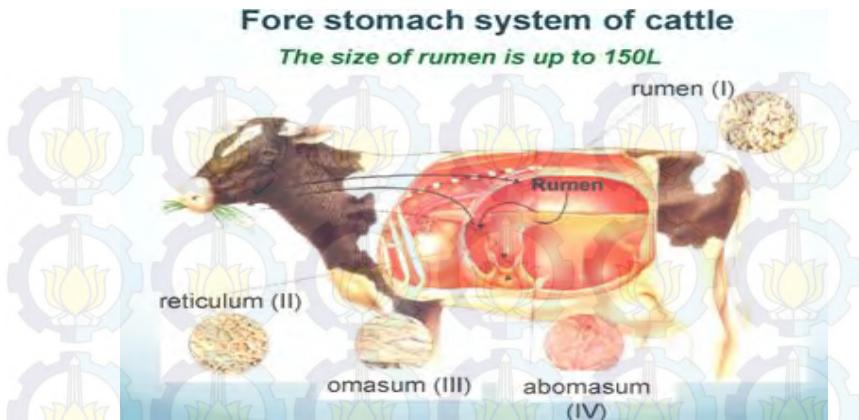
Dari gambar II.4 dibawah ini adalah jenis enzyme yang berperan dalam degradasi lignoselulosa (Takeneka, 2008) adalah : Cellobiohydrolase, Endoglucanase, Cellobiase, Endoxylanase, Xylosidase, Arabinofuranosidase, Feruloyl esterase, Acetylxyylan esterase,  $\alpha$ -Glucuronidase.



**Gambar II. 4.** Macam-Macam Enzyme Pendegradasi Lignin

### II.3. Rumen Fluid

Rumen adalah bagian pertama (first stomach) didalam lambung sapi yang harus dilewati sebelum makanan dicerna lebih lanjut oleh sistem pencernaan lainnya. Ukuran rumen adalah 150 – 200 L seperti tampak pada gambar II.5.



**Gambar II.5.** Rumen dan Tampak Samping Perut Sapi (Takeneka, 2008)

Rumen fluid dari sapi mengandung dua quadrillion bakteri dan 1 miliar protozoa. Banyak diantara bakteri tersebut adalah mikroorganisme selulolitik anaerobik, dan mampu menghidrolisis selulosa dengan efisiensi yang tinggi, dengan waktu tinggal solid/ *solid residence time* (SRT) yang sangat pendek (sekitar 23-30 jam) (Chynoweth dkk. 2003; Hungate, 1966 ; Song dkk. 2005). Komposisi lengkap mikroroganisme cairan rumen berdasarkan populasinya dijelaskan dalam tabel II.3. dibawah ini:

Tabel II.3. Komposisi Mikroorganisme Cairan Rumen

Nama Mikroorganisme	Jumlah
Protozoa	$10^6$ /g
Arcaea	$10^8$ /g
Bakteri	$10^{10}$ /g
Fungi	$10^4$ /g

(Sumber : Takeneka, 2008)

Fungsi cairan rumen menurut Takeneka (2008) adalah mendegradasi fiber, menghasilkan protein, menghasilkan VFAs, memecah nutrisi, dan menghasilkan Metana.

Jenis bakteri utama rumen (Takeneka, 2008) menurut dengan fungsinya bisa dilihat dalam tabel II.4. dibawah ini :

Tabel II.4. Bakteri Utama Rumen ((Takeneka, 2008)

Fungsi	Jenis Bakteri	Morfologi Bakteri
Pendegradasi selulosa	- Fibrobacter succinogens	Gram -, batang/ rods
	- Ruminococcus Albus	Gram +, coccus/cocci
	- Ruminococcus flavefaciens	Gram +, coccus/cocci
Pemakan hemiselulosa dan pectin	- prevotella ruminocola	Gram -, batang/rods
	-Butyrivibrio fibrisolvens	Gram +, batang/rods
Starch Fermenter (pemfermentasi pati)	- Ruminobacter amylophilus	Gram -, rods
	-Streptococcus bovis @	Gram +, rods
Pemakan asam organic	-Megasphaera elsdenii	Gram -, cocci
	-selenomonas ruminantium	Gram -, rods

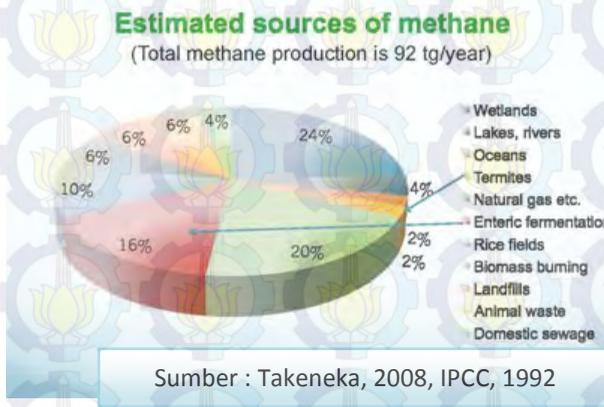
### II.3.a. Efisiensi Global Mikroba Rumen (per Tahun)

Setiap tahun jumlah hewan ternak diseluruh dunia meningkat 15 miliar ekor, dengan jumlah total sebanyak 3 billion sapi. Yang membutuhkan 10000 MT material berselulosa untuk di konsumsi (Takeneka, 2008). Jadi sumber mikroba rumen sangat melimpah untuk dimanfaatkan. Potensi limbah cairan rumen di RPH Pegirian Surabaya adalah 260 ekor sapi (rata-rata yang dipotong tiap hari) x 200 L = 5200 liter/hari atau dalam satu bulan sekitar

7800 ekor sapi atau 1.560.000 liter/per bulan (www.kanalsatu.com).

#### II.4. Metana Sebagai Sumber Energi dan Penghasil Gas Rumah Kaca

Metana adalah senyawa hidrokarbon gugus alkana dengan satu atom C tunggal (C1) dan empat ikatan tunggal atom hidrogen (Fessenden, 1986). Metana memiliki titik didih  $-161.5^{\circ}\text{C}$  dan titik beku  $-183^{\circ}\text{C}$  (Solomons, 1976). Metana bisa didapatkan secara alami dari alam, dan juga bisa didapatkan dari proses anaerobic bahan organik. Metana yang berasal dari proses enteric fermentation / hewan ternak, adalah salah satu sumber dari green house gas (GHG) (Takeneka, 2008). Potensi efek gas rumah kaca yang dihasilkan oleh metana 23x lebih kuat dari efek yang ditimbulkan oleh Karbondioksida. Total estimasi sumber metana seluruh dunia adalah 92 ton gross per tahun, dengan komposisi 24 % dari lahan gambut, 20 % dari Natural Gas, 16 % dari enteric fermentation data dari IPCC tahun 1992. Sebagian besar proses enteric fermentation adalah proses yang terjadi pada rumen (Takeneka, 2008). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.6.



Gambar II.6. Estimasi Sumber Metana

Berdasarkan sumbernya, komposisi property CH<sub>4</sub> bisa dilihat dari tabel II.5. dengan komposisi CH<sub>4</sub> terbesar adalah pada biogas sebanyak 90 – 70 % CH<sub>4</sub> dan gas alam sebanyak 90 %. Salah satu kekurangan dari CH<sub>4</sub> yang bersumber dari biogas adalah kandungan H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> yang masih tinggi dari pada CH<sub>4</sub> yang bersumber dari gas alam.

Tabel II.5. Komposisi Rata-Rata Properti dari CH<sub>4</sub> Pada Sumber Biogas Yang Berbeda

Gas	Biogas	Landfill gas	Natural Gas
CH <sub>4</sub>	90-70	65-65	90
Hydrocarbon (%)	0	0	9
H <sub>2</sub> (%)	0	0-3	0
CO <sub>2</sub> (%)	30-40	15-50	1
N <sub>2</sub> (%)	0.2	5-40	0.3
O <sub>2</sub> (%)	0	0-5	0
H <sub>2</sub> S (ppm)	0-4000	0-100	3
NH <sub>3</sub>	100	5	0
Heating value, (kWh/Nm <sup>3</sup> )	6.5	4.4	11.0

(Sumber: Grande,2007 )

#### II.4.a. Mekanisme Proses Anaerobik Dalam Menghasilkan Metana

Metana adalah salah satu gas yang dihasilkan dalam proses pembuatan biogas. Biogas dihasilkan dari proses anaerobik senyawa organik kompleks, seperti lipids polisakarida, protein, lemak, asam nukleat dan lain sebagainya (Yadvika dkk., 2004). Prosesnya bisa dibagi dalam tiga tahap sebagai berikut :

1. Tahap Hidrolisis ; Proses hidrolisis memecah molekul organik kompleks menjadi unit yang lebih kecil sebagai

contoh gula / monosakarida, asam amino, alcohol, fatty acid, dan senyawa organic lain yang lebih sederhana. Proses ini dibantu oleh bakteri strict anaerob seperti *Bactericides*, *Clostridia* dan facultative anaerob seperti *Streptococcus* etc.(Yadvika et. al., 2004). Reaksi yang terjadi dalam proses ini sebagai berikut :



2. Tahap Acidogenesis ; pada proses ini bakteri acidogenic (bakteri penghasil asam) memecah molekul gula menjadi volatil fatty acid misalnya laktat, butirir, propionate, dan asetat, juga terbentuk karbondioksida, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S dan H<sub>2</sub> (Grande) . Jenis reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



(asam laktat)



(asam butirir)



(asam propionate)

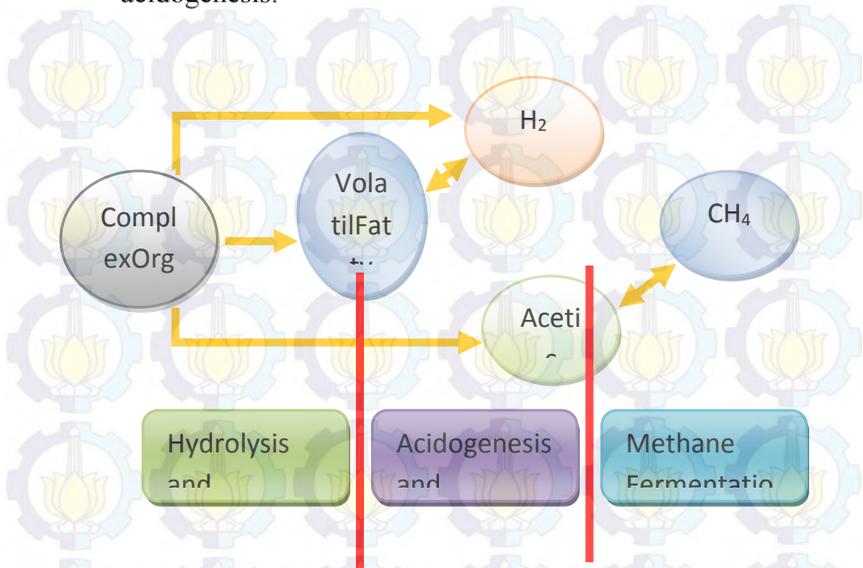


(asam asetat)

Pada proses ini, bakteri acetanogen mengubah molekul organik menjadi CO<sub>2</sub> dan utamanya adalah asam asetat. Bakteri ini adalah *Syntrophobacter Wolinii* (mendegradasi propionate menjadi asam asetat , CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>) dan *syntrophobacter wolinii* mengoksidasi asam lemak bersama dengan bakteri pengguna H<sub>2</sub>. Propionat, asam lemak berantai panjang, alcohol, beberapa senyawa aromatik seperti benzoat dan asam – asam organic lainnya diproduksi oleh bakteri acetogen bersama – sama dengan bakteri metanogen. Degradasi propionat menurut reaksi:



reaksinya sangat lambat dibandingkan proses acidogenesis.



**Gambar. II.7.** Tahapan Proses Anaerobik Yang Sinergis dan Berkesinambungan (Yadvika dkk., 2004).

Sedangkan karakteristik proses metanogenesis yang terjadi dalam proses anaerobik bisa dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel II.6. Karakterisasi Metanogenesis (Pada Biakan Murni)

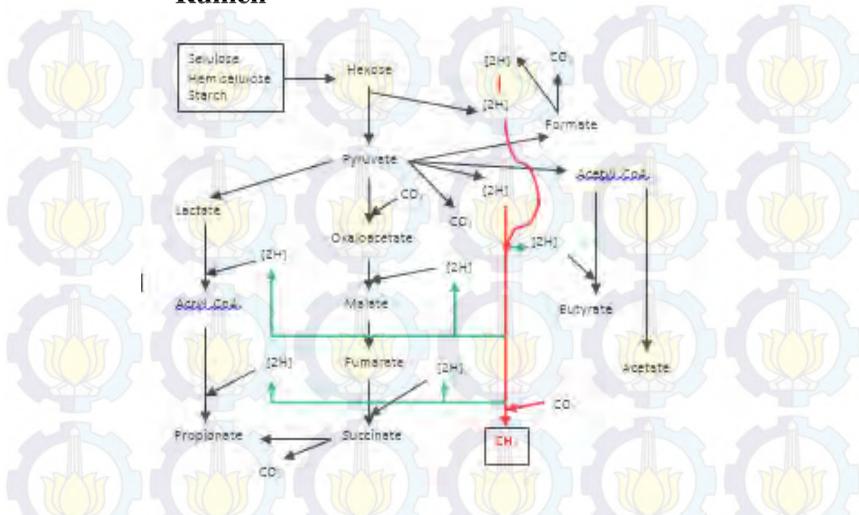
Spesies	Morfologi	Substrat	Komposisi dinding Sel
Methanobacter -formicium -bryantii -thermoautotrophicum	Batang panjang sampai dengan filamen	H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Pseudomurein
Methanobrevibacter -Ruminantium -Smithii -Arboriphilus	Bentuk jarum, bulat dan batang pendek	H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub>	Pseudomurein
Methanococcus -Vanniellii -Voltae -Thermolithotrophicus -Mozei	Motile tak beraturan bulat kecil, pseudosarcina	H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub> ,	Polypeptide subunits
Methanomicrobium -Mobile	Batang pendek motile	H <sub>2</sub> , Formate	Polypeptide subunits
Methanobacterium -Cariaci -Marisnigri	Bulat kecil tak beraturan motile	H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub> , Formate	Polypeptide subunits
Methanospirillum -Hungatei	Batang melengkung beraturan	H <sub>2</sub> , Formate	Polypeptide

	motile		
Methanosacina -Barkeri	Bulat tak beraturan sebagai kumpulan sel-sel tunggal, pseudoparenchyma	H <sub>2</sub> , Formate Methanol Methylamine s	Hetropoly - saccharide
Methanothrix -Soehgenii	Batang semampai dengan filamen panjang	Acetate	No muramic acid

Sumber : Yuniarta dan Reapradana, 2007

Bakteri methanogen sangat cocok pada pH netral sampai basa dan sangat sensitive terhadap perubahan. Produksi metana berlangsung dalam digester dan beroperasi dalam kondisi mesopilik (293-313 °K / 25 – 40 °C) dan kondisi thermophilik (323-333 °K / 50 -65 °C) (Gavala, dkk. 2003). Digester mesofilik berfungsi secara optimal pada suhu antara 30-35°C .Gas yang dihasilkan dalam proses dibiodigester selain metana adalah CO<sub>2</sub>, Senyawa Sulfur (H<sub>2</sub>S), sikloalkana, air, dan kontaminan kecil (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, Chlorine, Flourine, dll)(Wellinger, 2009). Komposisi akhir dari biogas tergantung dari variable dan sangat bergantung pada material organic yang dipakai dalam proses (Petterson dan Wellinger, 2009).

## II.5. Mekanisme Produksi Metana Secara Anaerob di dalam Rumen

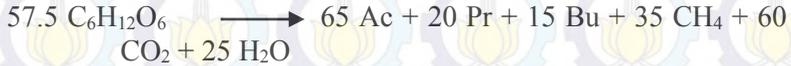


**Gambar II.8.** Mekanisme produksi metana di dalam rumen (Takeneka, 2008)

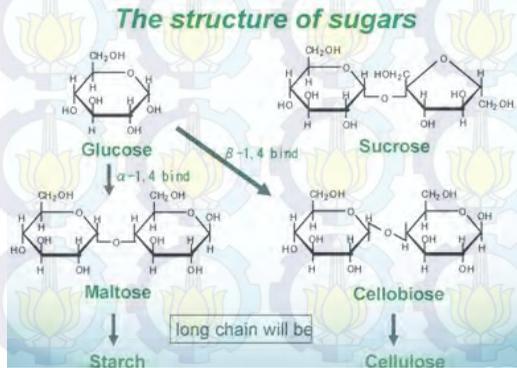
Seperti pada gambar II.8. selulosa, hemiselulosa dan starch (bubur pati) akan terhidrolisi menjadi glukosa yang akan dipecah menjadi hexosa, kemudian hexosa akan menghasilkan asam piruvat dan dua atom hydrogen. Pyruvate akan terurai lagi menjadi asam laktat, asam format, oxaloasetat, Acetyl CoA, karbondioksida, dan dua atom hydrogen. Kemudian karbondioksida yang terbentuk akan bereaksi dengan oxaloasetat menjadi asam malat, sedangkan hydrogen yang terbentuk akan bereaksi dengan asam laktat menjadi Acryl CoA, Acryl CoA akan bereaksi lagi dengan sisa hydrogen menjadi asam propionate. Hydrogen juga akan bereaksi dengan asam malate membentuk asam Fumarate. Asam Fumarate juga bereaksi dengan hydrogen membentuk succinate, sedangkan succinate akan terurai menjadi CO<sub>2</sub> dan asam propionate.

Asam format yang terbentuk dari pyruvate akan terurai menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2$ . Asetyl CoA akan bereaksi dengan hydrogen membentuk butirat, dan sisanya akan terurai menjadi asam asetat.  $\text{CH}_4$  akan terbentuk sebagai produk akhir dari reaksi antara Hidrogen dengan  $\text{CO}_2$ .

Secara ringkas mekanisme reaksi diatas bisa disingkat dalam reaksi empiris sebagai berikut :



(Wolin. M. J., 1979, Adv. Microbial Ecol 3:49-77)



**Gambar II. 9.** Struktur Gula (Takeneka, 2008)

Dari gambar II.9. bisa dilihat bahwa Glukosa adalah pembentuk selulosa dan starch. Selulosa, hemiselulosa dan starch yang sudah terhidrolisis menjadi gula akan bereaksi menjadi produk akhir Asam Asetat, Propionat, Asam Butirat, Metana,  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Menurut tahapan reaksinya, mekanisme reaksi diatas juga bisa dipecah menjadi 4 mekanisme reaksi, reaksi utama adalah reaksi antara Hidrogen dan  $\text{CO}_2$  menjadi Metana dan Air, kemudian 15-20 % metana dihasilkan oleh propionate, sebagian kecil dihasilkan dari butirat dan asam asetat, seperti reaksi berikut :

- A.  $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$  (Reaksi Utama)
- B.  $4\text{HCO}_2\text{H} \longrightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  (15-20 %)
- C.  $4\text{CH}_3\text{OH} \longrightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  (minor pathway)
- D.  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H} \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$  (minor pathway)

Bahan atau substrat yang terlibat dalam proses methanogenesis berdasarkan bakteri atau mikroorganismenya ada di Tabel II.7 dibawah ini :

Tabel II.7. Substrat untuk Bakteri Methanogens di dalam Rumen

Jenis Bakteri	Substrat
Methanobacteriaceae: -Methanobacterium formicicum -Methanobrevibacter ruminantium -Methanobrevibacter smithii -Methanobrevibacter curvatus -Methanosphaera stadtmanae	$\text{H}_2/\text{CO}_2$ , Formate
Methanomicrobiaceae : -Methanomicrobium mobile	$\text{H}_2/\text{CO}_2$ , Formate (tidak menggunakan asetat)
Methanosarcinaceae : -Methanosarcina mazei -Methanosarcina barkeri	Asetat, Methanol, Metylamines $\rightarrow \text{CH}_4$

## **II.6. Faktor Umum Yang Berpengaruh dalam Proses Anaerobik**

Proses anaerobik yang menggunakan mikroorganisme sangat bergantung pada pH, Temperature, HRT, C/N Ratio, dan lain-lain, yang secara relative adalah proses lambat (Yadvika dkk., 2004). Berikut ini adalah hal-hal yang berpengaruh dalam proses anaerobik :

### **1. Temperature**

Temperature memiliki pengaruh yang besar pada proses anaerob, proses anaerob bisa terjadi dalam tiga temperature yang berbeda, yaitu : psyrophilic (<30°C), mesophilic (30-40°C), dan thermophilic (50-60°C). Bakteri anaerob berada dalam kondisi sangat aktif pada kondisi mesophilic dan thermophilic (Mital, 1996; Umetsu dkk. 1992; Maurya dkk. 1994; Takizawa dkk. 1994 ; Desaki dan Madamwar, 1994; Zannaki dkk. 1996)

### **2. pH**

pH adalah faktor penting dalam proses anaerob. pH optimum didalam digester adalah 6.8 – 7.2. Jumlah CO<sub>2</sub> dan volatile fatty acid akan berpengaruh pada pH digester. Untuk fermentasi anerobik, konsentrasi VFA, asam asetat sebaiknya dibawah 2000 mg/l (Yadvika dkk., 2004). Pada pH diatas 5 efisiensi produksi CH<sub>4</sub> lebih dari 75 % (Jain dan Mattiason, 1998).

### **3. Pretreatment**

Pretreatment diperlukan untuk menaikkan yield metana dalam proses anaerobik. Pretreatment bertujuan memecah struktur kompleks senyawa organik menjadi molekul yang lebih sederhana, sehingga bisa diurai oleh mikroorganisme. Pretreatment bisa dilakukan dengan berbagai metode seperti berikut ini (Yadvika dkk., 2004): Pretreatment dengan alkali atau asam, predigestion subtract yang masih baru, thermokimia ultrasonic, ensilasi feed.

### **4. Ukuran Partikel**

Ukuran substrat tidak boleh terlalu besar karena akan menyulitkan mikroba untuk menguraikannya. Ukuran partikel yang lebih kecil

bisa memaksimalkan luas permukaan untuk proses adsorbs substrat yang akan menghasilkan naiknya aktivitas mikroba sehingga bisa menaikkan produksi gas (Yadvika dkk., 2004).

#### 5. C/N Ratio

Perbandingan Karbon dengan Nitrogen. Secara umum sudah diketahui bahwa selama proses anaerobik, mikroorganism menggunakan 25-30 kali lebih banyak karbon dari pada Nitrogen. Sehingga C/N Ratio yang dibutuhkan dalam proses anaerobik adalah 20-30/ 1 C terhadap N (Bardiya dan Gaur, 1997; Malik dkk. 1987). Sedangkan untuk perbandingan COD : N : P untuk proses anaerob adalah 1000 : 12,5 : 2,5 (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

#### 6. Pelarutan Substrat

Karakteristik substrat akan diubah dengan pelarutan sederhana. Air takan mengurangi konsentrasi beberapa unsure seperti Nitrogen dan Sulfur yang akan mengganggu proses anaerobik. Konsentrasi solid yang tinggi akan menghambat dekomposisi anaerobik (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

#### 7. Pengadukan

Pengadukan dibutuhkan untuk memberikan kontak yang lebih besar antara mikroorganism dan substrat sehingga akan memperbaiki proses digestion (Yadvika dkk., 2004). Pengadukan juga berguna untuk memperbaiki produksi gas. (Mohanrao, 1974 ; Aubart dan Farinet, 1983 ; Van dan Faber, 1993).

#### 8. Seeding of Biogas Plant

Seringkali diperlukan untuk menambahkan seeding bacteria kedalam digester untuk start-up proses anaerobik. Penambahan inokulum bertujuan menaikkan yield gas dan metana pada biogas (Yadvika dkk., 2004). Penambahan inokulum memungkinkan untuk menaikkan yield gas dan untuk mengurangi waktu tinggal (Dangaggo dkk., 1996; Kanwar dan Guleri, 1995 ; Kotsyurbenko dkk. 1993).

## 9. Organic Loading Rate (OLR)

Produksi gas sangat bergantung pada kecepatan loading. Yield metana meningkat dengan berkurangnya kecepatan loading (Vartak dkk., 1997). Meningkatkan loading akan mengurangi ukuran digester tetapi juga mengurangi prosentase dari volatile solid yang diubah menjadi gas (Yuniarta dan Reapradana, 2007). Loading adalah massa substrat (pound) per cubic foot dari volume digester. Satuannya adalah kilogram influent per cubic meter volume digester per hari (kg/m<sup>3</sup>/hari) atau sama dengan 0.0634 (lb/ft<sup>3</sup>/hari). Loading rate bisa dituliskan dalam rumus :

$$L = \left( \frac{1}{HRT} \right) (C_i)$$

$C_i$  = konsentrasi solid pada influent (gr)

## 10. Hydraulic Retention Time (HRT)

HRT adalah waktu rata-rata yang diperlukan oleh input slurry didalam digester sebelum keluar.  $HRT = V / Q$ , dimana V adalah volume digester dan Q adalah laju alir dari input slurry. HRT bervariasi antara 30-50 hari, untuk negara tropis. Untuk negara yang lebih dingin bisa sampai 100 hari. HRT yang lambat membutuhkan volume digester yang lebih besar dan biaya yang lebih banyak. (Yadvika dkk.,2004).

## 11. Solid Retention Time

Solid Retention Time (SRT) merupakan faktor penting untuk mengontrol konversi dari solid menjadi gas dan berpengaruh pada kestabilan digester. SRT adalah jumlah dari solid yang ada pada digester dibagi dengan jumlah limbah padat setiap harinya.

$$SRT = \frac{(V)(C_d)}{(Q_w)(C_w)}$$

V = volume digester,

$C_d$  = konsentrasi solid

$Q_w$  = volume limbah setiap harinya

$C_w$  = konsentrasi padatan pada limbah.

HRT sama dengan SRT, untuk konvensional *completely mixed* atau *plug flow* digester. Pada SRT yang rendah, tidak cukup waktu yang tersedia untuk pertumbuhan bakteri dan mengganti kehilangan bakteri dalam effluent. Jika rate kehilangan bakteri melebihi pertumbuhan bakteri maka akan terjadi "wash-out". SRT ketika wash-out mulai terjadi disebut *critical SRT* (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

#### 12. Solid Concentration

Jumlah substrat yang bisa difermentasikan dari feed dalam satuan volume of slurry (VS) didefinisikan sebagai konsentrasi solid. Proses fermentasi tidak stabil pada konsentrasi solid 7 % (kotoran hewan) dan pada level 10% menyebabkan fermenter overload (Baserja, 1984). Konsentrasi solid 7-9% adalah yang terbaik (Zennaki dkk., 1996). Konsentrasi solid bisa juga dinyatakan dengan TS (Total Solid). Terdapat tiga range kandungan solid yaitu:

- Sistem Low Solid (LS) Anaerobic Digestion, mengandung kurang dari 10% Total Solid (TS).
- Sistem Medium Solid (MS) Anaerobic Digestion, mengandung 15 hingga 20% Total Solid (TS).
- Sistem High Solid (HS) Anaerobic Digestion, mengandung 22 hingga 40% Total Solid (TS).

Ketika kandungan total solid dinaikkan, maka volume digester menurun, karena jumlah air yang dibutuhkan berkurang (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

#### 12. SVI (Sludge Volume Index)

Volume sludge yang mengendap setelah diendapkan selama 30 menit ( $V_{30}$ ) merupakan dasar untuk perhitungan Sludge Volume Index (SVI).

$$SVI \text{ (ml/g)} = V_{30} / x$$

x = konsentrasi biomassa (g).

Prosedur pengukuran nilai  $V_{30}$  dan penghitungan SVI berbeda-beda. Sehingga nilai yang dicantumkan dalam literatur tidaklah

mudah untuk dibandingkan. Untuk mudahnya, pendekatan kasar yang diberikan pada tabel dibawah ini dapat digunakan (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

Tabel II.7. Pendekatan Kasar Tipe Sludge dan SVI

Tipe Sludge	SVI (ml/g)
Well Settling	< 100
Light	100 – 200
Bulking	> 200

### 13. Rasio makanan terhadap mikroorganisme

Rasio makanan terhadap mikroorganisme adalah hal penting yang mengontrol proses anaerobik. Agar bakteri dapat mengkonsumsi jumlah substrat yang dibutuhkan pertama yang harus dilakukan adalah dengan memberikan jumlah Bakteri yang cukup. Rasio dari massa substrat terhadap massa mikroorganisme yang tersedia untuk mengkonsumsi limbah adalah F/M, rasio food (F) terhadap mikroorganisme (M). Semakin rendah rasio ini maka akan menghasilkan prosentase limbah terbesar yang diubah menjadi gas. Akan tetapi, massa dari bakteri sulit untuk diukur karena sukar untuk mendifferentiate massa dari bakteri dari influent limbah. Tugas ini tidaklah mudah jika semua influent limbah menjadi biomassa atau menjadi gas. Pada kasus ini, secara sederhana rasio F/M adalah digester loading dibagi dengan konsentrasi volatile solid yang terdapat didalam digester (L/Cd). Efisiensi dapat ditingkatkan dengan merendahkan rasio F/M dengan meningkatkan konsentrasi biomassa di dalam digester. Untuk setiap konsentrasi biomassa yang diberikan kepada digester, efisiensi dapat ditingkatkan dengan menurunkan loading. Sayangnya, sebagian dari influent limbah tidak di proses atau di konversi menjadi biomassa atau gas oleh bakteri. Dalam kasus tersebut rasio F/M sama dengan VS loading dibagi VS digester terukur dikurangi Volatile Solid yang tidak terproses. Volatile solid yang tidak terproses dapat meliputi refractory atau produk

biologis yang tidak terdegradasi yang dihasilkan oleh bakteri (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

$$\frac{F}{M} = \frac{L_{VS}}{VS_D - VS_{UP}}$$

F = Food

M = Mikroorganisme

L<sub>VS</sub> = Loading Volatile Solid

VS<sub>D</sub> = Volatile Solid Digester

VS<sub>UP</sub> = Volatile Solid yang tidak terproses

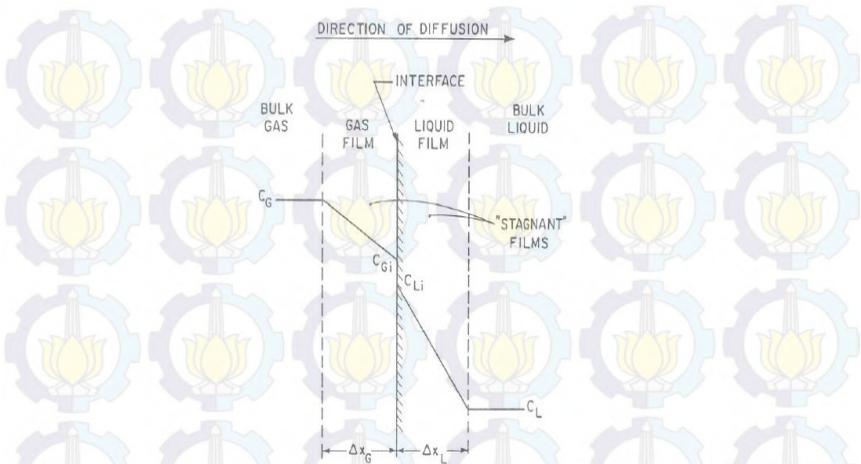
## II.7. Koefisien Perpindahan Massa

Koefisien perpindahan massa volumetrik  $k_{La}$ , adalah kecepatan spesifik dari perpindahan massa (gas terabsorpsi per unit waktu, per unit luas kontak. Per unit beda konsentrasi).  $k_{La}$  tergantung pada sifat fisik dari sistem dan dinamika fluida.

Koefisien perpindahan massa volumetrik,  $k_{La}$ , dipengaruhi oleh variabel-variabel bilangan Reynolds, bilangan Schmidt, geometri sistem yang digunakan dan perbandingan jumlah umpan dengan pelarut. Koefisien perpindahan massa umumnya dinyatakan dalam bentuk bilangan Sherwood. Korelasi empirik bilangan Sherwood melibatkan bilangan Reynolds dan bilangan Schmidt. Koefisien perpindahan massa gas-cair merupakan fungsi dari laju alir udara/ kecepatan superficial gas, viskositas, dan luas area.

sifat – sifat liquida seperti densitas, viskositas, tegangan permukaan dan difusitas. Semua faktor – faktor tersebut akan mempengaruhi koefisien perpindahan massa volumetrik. Mekanisme perpindahan massa adalah kecenderungan suatu komponen yang berada dalam suatu campuran untuk bergerak dari daerah yang berkonsentrasi tinggi ke daerah yang berkonsentrasi rendah. Laju perpindahan massa volumetrik dapat ditinjau sebagai perubahan P konsentrasi terhadap perubahan waktu  $dC/dt$ , dengan persamaan sebagai berikut :

$$dC/dt = kLa (C^* - C)$$



**Gambar II.10.** Teori lapisan film model perpindahan massa pada gas-liquid interface

- **Dimensi yang digunakan pada perpindahan massa**

$$Sc \text{ (Schmidt Number)} = \frac{\text{momentum diffusivity}}{\text{mass diffusivity}} = \frac{\mu}{\rho D_L}$$

$$Re \text{ (Reynold Number)} = \frac{\text{inertial forces}}{\text{visous force}} = \frac{dv\rho}{\mu}$$

$$Sh \text{ (Sherwood Number)} = \frac{\text{total mass transfer}}{\text{diffusi mass transfer}} = \frac{k_1 d}{D_L}$$

Koefisien perpindahan massa volumetric ( $K_1a$ ) merupakan parameter yang paling sesuai untuk menggambarkan efisiensi transfer massa gas (atau resistance) dalam fasa cair tergantung campuran media yang digunakan.

Pengukuran koefisien transfer massa biasanya dapat diukur dengan menggunakan gas hydrogen ( $H_2$ ), akan tetapi dapat dilakukan dalam operasi kondisi yang sama dalam hal ini dapat

menggunakan gas oksigen untuk menghitung K<sub>la</sub> metana agar pengukurannya lebih mudah. Gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah terdiri dari gas CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>. Oleh karena itu pengukuran juga dapat menggunakan oksigen karena merupakan gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah, jadi sifat fisik yang dimiliki sama. Pengukuran menggunakan oksigen diperbolehkan karena merupakan prosedur yang paling sederhana. K<sub>la</sub> nilainya sebanding dengan nilai akar dari diffusivitasnya. Sehingga, untuk menghitung K<sub>la</sub> dari metana dapat dihitung berdasarkan K<sub>la</sub> oksigen (O<sub>2</sub>) (Beckers, 2015).

## **II.8. Metode Untuk Meningkatkan Produksi Biogas**

Metode tersebut adalah penggunaan beberapa aditif yang dipakai dalam menaikkan produksi gas seperti :

### **1. Green biomass**

Additive biologis seperti tanaman yang berbeda-beda, limbah jagung, kultur mikroba dan lain-lain. Bubuk daun dari beberapa tanaman dan legume (seperti gulmohar, *Leucacena leucocephala*, *Acacia auriculiformis*, *Dalbergia sisoo* dan *Eucalyptus tereticionius*) sudah ditemukan bisa menstimulasi produksi gas antara 18 % dan 40 % (SBOBD, China, 1979; Chowdhry dkk., 1994). Additive tanaman juga bisa memperbaiki kondisi terbaik untuk kecepatan produksi gas didalam reactor seperti pH, inhibition/promotion proses acetogenesis dan methanogenesis untuk yield yang terbaik (Yadvika dkk., 2004). Penggunaan Alkali (1 % NaOH untuk 7 hari) pada sisa tanaman (lantana, wheat straw, apple leaf litter dan peach leaf litter) ketika digunakan sebagai supplement pada kotoran sapi menghasilkan 2 kali lipat kenaikan biogas dan CH<sub>4</sub> (Dar dan Tandon, 1987). Penambahan *Ageratum* yang sudah dihancurkan menghasilkan 43 % dan penambahan *Euphorbia tirucalli L.* menghasilkan 14 % gas lebih banyak dibandingkan dengan kotoran sapi murni (Kalia dan Kanwar, 1989; Rajasekaran, 1989; Trujillo dkk., 1993).

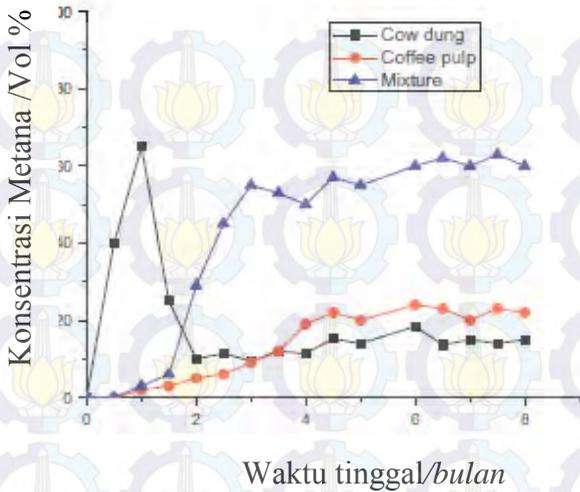
## 2. Microbial Strains

Selain penggunaan green biomass, bahan additive yang penting adalah penggunaan strain beberapa bakteri dan jamur untuk meningkatkan produksi gas dengan menstimulasi aktivitas enzim tertentu. Strain bakteri selulosa seperti actinomycetes dan campuran konsorsium bakteri telah ditemukan bisa memperbaiki produksi biogas pada range 8.4 sampai dengan 44 % pada biogas kotoran sapi (Tirumale dan Nand, 1994; Attar dkk., 1998). Semua strain menunjukkan batas aktivitas semua enzim yang mempengaruhi degradasi selulosa, viz. C1 enzim, enzim exglucanase, endoglucanase, beta glucosidase. Aktivitas enzim endoglucanase menjadi hal paling penting untuk hydrolysis selulosa (Yadvika et al, 2004).

## II.9. Hasil Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian sebelumnya yang mendasari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. G. Corro dkk. (2013) memproduksi metana menggunakan biomassa dari pulp kopi yang dicampur dengan kotoran sapi. kecepatan konversi metana pada substrat campuran pulp kopi dengan kotoran sapi sangat rendah, dalam 1,5 bulan pertama masih dibawah 10 % dan 2 bulan *digestion time* masih sekitar 30 %.. Walaupun pada konsentrasi metana campuran menghasilkan yield yang besar dari pada substrat lainnya namun SRT nya sangat lama, seperti yang digambarkan pada gambar II.10. dibawah ini.



**Gambar II.10.** *Evolusi CH<sub>4</sub> (% V) didalam yield biogas dari kotoran ternak dan limbah pulp kopi*

bertujuan untuk memperbaiki efisiensi produksi metana dari biomassa, dengan menggunakan cairan rumen sebagai pretreatment dan mengurangi beban plant pemrosesan limbah rumah pemotongan hewan, dari penelitian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut; kecepatan degradasi biomassa NDF (dihitung dengan neutral detergent fiber) meningkat setelah produksi metana, dari 63.9 % pada control, menjadi 74.8 % pada (sample 6 jam) dan 75.3 % pada (sample 24 jam). Kemudian kecepatan degradasi selulosa naik dari 76.5 % menjadi 87.9 % pada sample 6 jam, dan dari 76.5 % menjadi 85.8 % pada sampel 24 jam. Dan kecepatan degradasi hemiselulosa juga meningkat, dari 40.6 % menjadi 55.2 % pada sample 6 jam, dan dari 40.6 % menjadi 57.5 % pada sample 24 jam dan untuk lignin hanya 10.7 % yang terdegradasi pada control, dimana 39.4 % pada sample 6 jam, dan 51.8 % pada sampel 24 jam. Yield methane yang

dihasilkan pada control 68.2 ml, pada sample 6 jam, 177,7 ml, dan pada sample 24 jam adalah 142 ml., sehingga methane yield yang dihasilkan 60.8 % pada control, 73.4 % pada sample 6 jam, dan pada 64.2 % pada sample 24 jam.

3. Zheng-Bo Yue, dkk. (2013) memberikan ulasan komprehensif pada pengembangan terkini proses digestion yang didominasi mikroorganisme rumen untuk konversi lignoselulose biomass. Hasil pengamatan SEM menunjukkan Rumen memiliki biofilm yang stabil dan padat. Formasi biofilm adalah keuntungan yang lain dari microorganism rumen. Hasil gambar resolusi tinggi AFM (Atomic Force Microscopy) yang dirangkai seri secara jelas menunjukkan proses formasi lubang dan microfibrils. Hal ini mengindikasikan bahwa tunneling mungkin menjadi salah satu mekanisme yang memungkinkan untuk mikroorganisme rumen untuk menyerang jerami. Mekanisme tunneling berarti bahwa mikroorganisme rumen tidak harus mendegradasi semua wax dan fraksi lignin pada fiber. Hal ini juga menerangkan kenapa fungi yang mendominasi pada rumen pada phase awal bisa mendegradasi lignin, tapi tidak ada pada bagian fase tertentu. Mikroorganisme rumen mempunyai aktivitas hidrolisis dan aktivitas acidogenesis yang lebih tinggi ketika menggunakan biomassa berlignoselulosa sebagai substratnya dibandingkan dengan inokulum mikroba lainnya. Dalam penelitian ini Z-B Yue dkk., menyarankan menggunakan System Anaerobic Digester CSTR karena teknologinya aman jika system mixing dipakai untuk menghindari meluapnya biomassa berlignoselulosa ketika dipakai.

4. Zhen-Hu Hu dan Han-Qing Yu, (2005) meneliti anaerobik digestion tanaman air cattail (*Typha latifolia* linn), tanaman berlignoselulosa, dengan mikroorganisme rumen dalam kultur batch, dengan substrat yang mengandung 12.4 g/l volatile solid, dan pH 6.7, maka didapat konversi maksimum volatile solid sebanyak 66 %, dalam waktu 125 jam. Menurunnya pH dari 6.7 menjadi 5.8 menyebabkan berkurangnya konversi volatile solid.

Total VFA yang dihasilkan 371,9 mg/g volatile solid, specific growth rate 0.089/jam, dan total organik karbon yang terlarut adalah 132.7 mg/g volatile solid.

5. A.K. Kivaisi dan S. Eliapenda (1994) meneliti aplikasi rumen untuk memperbaiki degradasi anaerobik pada bagas dan dedak jagung dengan reactor batch dan kontinu dengan pH yang sama dengan pH rumen, suhu 39°C dan konsentrasi substrat sebanyak 20 g total solid per liter dalam kondisi batch, didapatkan degradasi maksimum 49 sampai dengan 52 % dari total fraksi serat awal, dengan masa inkubasi selama 168 jam. Sedangkan dalam kondisi kontinu dengan loading rate 20 dan 35 g total solid per liter per hari dan SRT 60 jam dan HRT 19 jam, total fibre degradation adalah 54 – 69 % dengan 30 % lignin yang hilang.

6. Andre Pauss, Gerald Andre (1990) meneliti perpindahan massa dari liquid ke gas pada proses anaerob dengan membandingkan dissolved hydrogen pada 3 reaktor yang berbeda yaitu completely stirred reactor, sludge bed reactor, UBF reactor. Penelitian ini hanya khusus meneliti H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> karena merupakan gas yang berpengaruh pada proses anaerob. Pada reactor completely stirred reactor didapatkan kLa yang rendah yaitu 0.16 dan 0.09 h<sup>-1</sup>, untuk reactor sludge bed reactor didapatkan kLa CH<sub>4</sub> sebesar 0.03 h<sup>-1</sup>, dan pada UBF reactor kLa CH<sub>4</sub> 0.03 h<sup>-1</sup>.



\* Halaman ini sengaja dikosongkan \*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **III.1. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Biokimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya .

#### **III.2. Bahan, Alat**

##### **III.2.1 Bahan Penelitian**

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jerami padi, cairan rumen, kotoran sapi, demin water, akuades,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , Fe-EDTA,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , yeast extract, kertas saring Whatman, kasa steril, kertas tisu, glukosa,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , NaOH,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , kertas lakmus, Alkohol, L-Cysteine, acetone, hexan.

##### **III.2.2 Alat Penelitian**

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *Autoclave* (Astell Scientific), *Hot plate & stirrer* (Snijders), *Spectrophotometer* (Cecil), *Analytical balance* (Ohaus), *Incubator* (Incucell), tabung reaksi, gelas ukur (pyrex), corong kaca, pipet volumetrik (pyrex), pipet tetes, gelas beker (pyrex), labu ukur (pyrex), erlemeyer (pyrex), *Furnance Lin High Therm VMK 135* Germany, Oven (VWR Scientific), *Vortex* (VM-300), Spatula, Handle Mixing Crank, rak kayu, kuvet, rangkaian alat reaktor batch, dan kain halus, ember, thermos, thermometer, cawan keramik, microtube, manometer, Syringe, Gas Holder.

#### **III.3. Variabel Penelitian dan Kondisi Operasi**

##### **III.3.1. Variabel Penelitian**

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

###### **A. Variabel**

a. Variabel volume sludge feed

1. 5% volume
2. 10% volume
3. 15% volume

b. Variabel pengadukan

- 1.0 rpm
- 2.10 rpm
- 3.30 rpm

c. Variabel waktu sampling

NO	Hari Ke	Variabel
1	0	% VS, % TS, viskositas, dan densitas
2	3	% VS, % TS, COD, kurva pertumbuhan bakteri, viskositas, dan densitas
3	7	% VS, % TS, Kandungan metana, VFas, COD, kurva pertumbuhan bakteri, viskositas, dan densitas
4	11	% VS, % TS, COD, kurva pertumbuhan bakteri, viskositas, dan densitas
5	15	% VS, % TS, Kandungan metana, VFas, COD, kurva pertumbuhan bakteri, viskositas, dan densitas
6	19	% VS, % TS, COD, kurva pertumbuhan bakteri, viskositas, dan densitas
7	21	% VS, % TS, Kandungan metana, VFas, COD, kurva pertumbuhan bakteri, viskositas, dan densitas

V(%)	Pengadukan ( RPM )		
	5	0	10
10	0	5	10
15	0	5	10

Tabel. III.1. Tabel Variabel waktu sampling

### III.3.2 Kondisi Operasi Penelitian

Volume Reaktor	: 6 liter
Volume Kerja	: 3.7 liter
T Operasi	: 30-40°C
pH	: 7
SRT	: 21 hari
System	: Batch

### III.4. Tahapan Metodologi Penelitian

Rangkaian penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

- I. Fermentasi Anaerobik
  1. Persiapan Substrat Bahan dan Pretreatment Jerami Padi
  2. Fermentasi Anaerobik
  3. Metode Analisa
- II. Koefisien Transfer Massa
  1. Persiapan Bahan dari hasil Fermentasi anaerobic
  2. Pengukuran O<sub>2</sub> terlarut dengan DO meter
  3. Perhitungan koefisien transfer massa CH<sub>4</sub>

### III.5 Fermentasi Anaerobik

#### III.5.1. Persiapan Substrat Bahan

##### III.5.1.1. Jerami Padi

Jerami padi diambil dari sebuah lahan pertanian di daerah Sumenep Madura sebanyak 5 shak/glangsing. Kemudian jerami padi dipretreatment dengan

mekanis dan thermal dengan melakukan pengeringan selama 2 hari dengan sinar matahari sampai kering. Setelah itu dimasukkan mesin penggiling untuk mendapatkan jerami padi dengan ukuran dibawah 1mm x 1 mm. memudahkan analisa jerami padi diayak dengan ukuran 100 mesh di Laboratorium Teknologi Biokimia Jurusan Teknik Kimia ITS untuk di pretreatment dan dianalisa kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignoselulosanya, kandungan Volatile Solid (VS), kandungan Total Solid (TS) sebelum dilakukan proses fermentasi anaerobic ( *Metode Jin dkk,2014* )

#### **III.5.1.2 Rumen sapi**

Cairan rumen diambil dari sapi yang baru dipotong dari RPH Pegirian Surabaya sebanyak  $\pm$  19 liter. Kemudian dibawa ke Laboratorium Teknologi Biokimia Jurusan Teknik Kimia ITS, untuk disaring dengan saringan 1mm x 1mm untuk menghilangkan material kasar, kemudian dimasukkan kedalam thermos yang sudah diisi dengan Nitrogen dan disimpan pada suhu 37<sup>0</sup>C dalam incubator ( *Baba dkk 2013; Jin dkk,2014* )

#### **III.5.2 Proses Pre-treatment Untuk Mendapatkan Sludge**

Sludge untuk feed digester adalah campuran dari jerami padi yang sudah dihaluskan dan diayak, cairan rumen, air, dengan komposisi ( 17% air, 37% cairan rumen, 46% jerami padi ) ( *G. Corro dkk,2013* ). Untuk variable mikroorganismenya yang lain menyesuaikan.

#### **III.5.3 Tahap Fermentasi Anaerobik**

Fermentasi dengan cairan rumen dilakukan secara batch, pada suhu 37<sup>0</sup>C selama 21 hari dan pH 7 ; ( *Hu dan Yu,2006* ). Volume digester yang dipakai adalah 6 liter dengan volume kerja 3.7 liter ( 70% volume; *Baba dkk,2013* ). Proses anaerobic digestion dilakukan dengan memasukkan

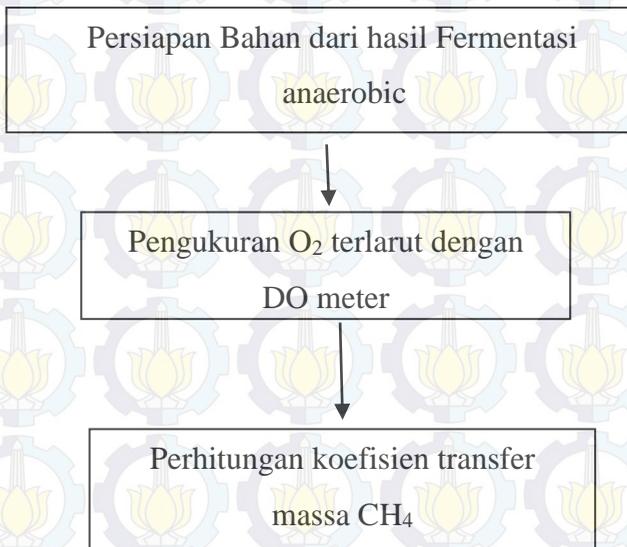
sludge feed awal (Corro dkk,2013). Selanjutnya dimulai proses anaerobic selama 24 jam, kemudian dimasukkan sludge yang sudah dipretreatment secara biologis pada hari ke-2 dan seterusnya dengan variable 5%,10%,15% dari volume kerja tiap satu hari sekali, dan nutrisi untuk memperbaiki pertumbuhan bakteri diantaranya adalah 2 g/l  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , 4 g/l  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 0.06 g/l  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 0.025 g/l  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 0.025 g/l  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.03 g/l Fe-EDTA, 0.005 g/l  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.005 g/l  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.005 g/l  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 0.1 g/l yeast extract. Proses anaerobic ini berlangsung secara batch dan dilakukan pengambilan sampel setiap 5 hari untuk dianalisa kurva pertumbuhan bakteri, analisa COD, analisa kandungan biogas, analisa VFAs, dan analisa koefisien perpindahan massa.



**Gambar III.1.** Diagram Alir Penelitian Fermentasi Anaerobik

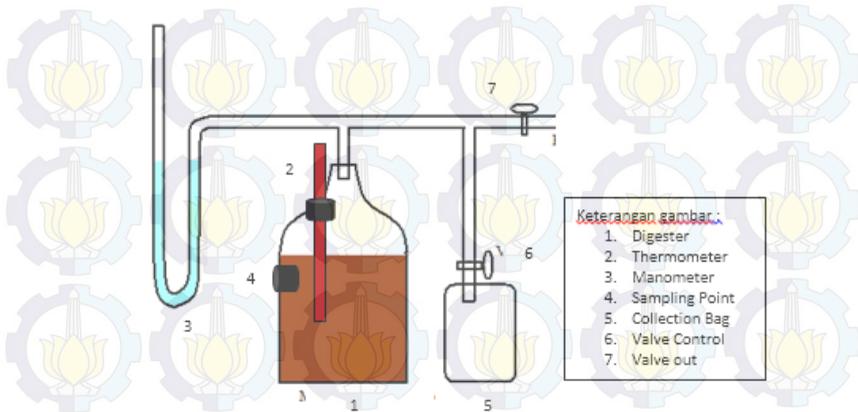
### III.6 Tahap Koefisien Perpindahan Massa

Perhitungan koefisien perpindahan massa dilakukan dengan menggunakan alat DO meter. Sampel yang digunakan merupakan hasil dari fermentasi anaerobic. Pengukuran koefisien perpindahan massa dilakukan pada setiap viskositas dan pada variable RPM dan % Volum dari volume mikroorganismen yang dilakukan pada proses anaerobic.

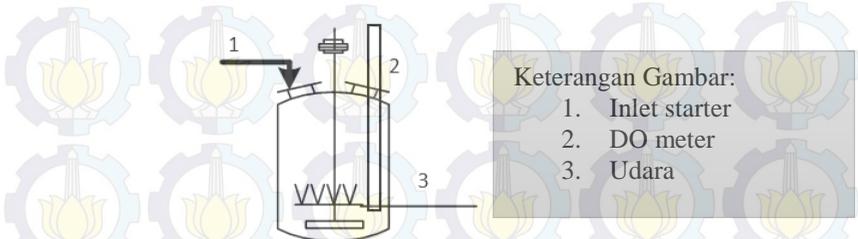


**Gambar III.2.** Diagram Alir Penelitian Koefisien Perpindahan Massa

## Tahap Fermentasi Anaerobik



**Gambar III.3.** . Skema Alat Penelitian untuk fermentasi anaerobik (*Corro dkk., 2013; Yue dkk., 2013*)



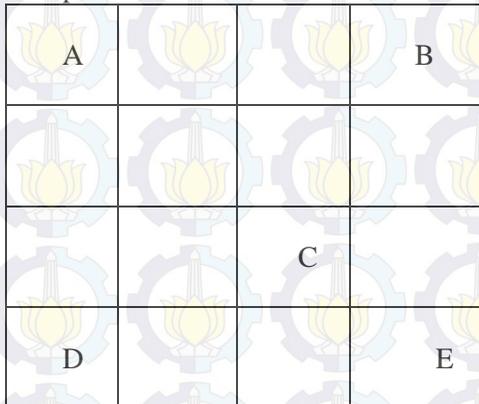
**Gambar III.4.** . Skema Alat Penelitian untuk Koefisien Perpindahan Massa

### III.4.5 Metode Analisa

#### III.4.5.1. Analisa Jumlah Bakteri dengan Metode *Counting Chamber*

Sebelum menghitung jumlah sel, diperlukan pengenceran yang bertujuan mempermudah pengamatan *counting chamber*. Sebanyak 1 mL sampel mikroalga diambil menggunakan pipet tetes, diencerkan dengan aquadest hingga 10 mL.

Diambil sampel secukupnya dengan menggunakan pipet tetes dan diletakkan pada tepi kaca tutup, maka dengan sendirinya tetesan tersebut akan mengalir ke bawah kaca tutup dan mengisi ruang hitung. Jika jumlah sel dalam 1 persegi kecil lebih dari 10 sel dan dalam 1 persegi besar lebih dari 100 sel, maka sampel perlu diencerkan kembali. Letakkan hemasitometer pada meja objek mikroskop. Tetapkan 5 titik dari 16 kotak terkecil pada hemasitometer seperti **Gambar III.5**.



A			B
		C	
D			E

**Gambar III.5** Penentuan titik hitung pada hemasitometer

Jumlah sel pada 5 titik dicatat dan diulangi hingga 3 kali.

Hasil perhitungan jumlah sel setiap titiknya di rata – rata.

Kemudian jumlah sel/mL dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah sel/mL} = \frac{(\text{Jumlah sel rata-rata})}{0,0025 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times \text{faktor pengecenceran}$$

### III.4.5.2. Analisa Kandungan Metana

Untuk menganalisa kandungan gas metana dalam sampel dengan menggunakan Gas Chromatography (GC). Untuk Pengambilan sampel gas dilakukan dengan penyedotan menggunakan *syringe* yang disuntikkan melalui selang yang terhubung pada kran digester kemudian secepatnya ditampung ke dalam venojeck. Analisis kadar metana dilakukan dengan gas kromatografi (GC), dengan cara sebagai berikut. Sampel gas sebanyak 1 ml diinjeksikan ke dalam injektor dengan temperatur injeksi 170°C. Kemudian dideteksi menggunakan detektor FID dengan temperatur 170°C. Pada kondisi yang sama diinjeksikan juga gas *acethyleen* sebagai standar pembanding. Hasil deteksi yang didapat berupa puncak grafik dicatat dengan *recorder* untuk diketahui luas areanya.

Konsentrasi gas metan didapat dengan rumus :

$$\% \text{ relatif gas metan} = \frac{\text{luas area sampel}}{\text{luas area pembanding}} \times 99,9\%$$

### III.4.5.3. Analisa VFAs

VFAs adalah precursor metana, semakin tinggi VFAs maka semakin tinggi konversi yield metana yang dihasilkan (Kivaisi, 1994). Untuk menganalisa kandungan VFAs Sampel slurry diambil melalui sampling valve digester dengan menggunakan *syringe* dan selang kemudian ditampung ke dalam *ependoff* 1,5 ml, kemudian disentrifuge untuk me-misahkan filtrat dan endapan. Filtrat kemudian di analisis VFAnya dengan

menggunakan menggunakan High Performance Liquid Chromatography (HPLC).

#### Analisa HPLC

Pompa : Isocratic HPLC pump Waters 1515

Autosampler : Autosampler Waters 2707

Detector : Refractive Index Detector Waters  
2414

Kondisi Operasi :

Kolom : Aminex HPX87P (Biorad, CA)

Resin Ionic Form: Hydrogen

Support : Sulfonate divinyl benzene-styrene  
copolymer 8% cross linkage

Particle size: 9 micro-meter

Temperature : 80 °C

Mobile phase : Pure water

Flow rate : 0.6 mL/ minute

#### **III.4.5.4. Analisa Total Solid (TS) dan Volatil Solid (VS)**

Jumlah TS biasanya direpresentasikan dalam % TS bahan baku organik. *Volatil solid* (VS) merupakan materi organik atau padatan organik yang menguap pada proses pembakaran diatas 500°C. Analisa VS ini perlu dilakukan untuk mengetahui banyaknya materi organik yang bisa menguap. Materi organik inilah yang akan dikonversikan menjadi biogas oleh bakteri metana., jumlah VS biasanya direpresentasikan dalam % VS.

#### Analisa TS

Cawan penguap dipanaskan selama 2 jam pada suhu 130°C, kemudian dinginkan didalam desikator, setelah dingin cawan kosong ditimbang. sebanyak 10 ml sampel dimasukkan ke dalam cawan yang telah ditimbang sebelumnya kemudian ditimbang kembali. cawan berisi sampel dimasukkan ke dalam oven kemudian dipanaskan selama 4 jam pada suhu 130°C untuk

menghilangkan kadar airnya. setelah cawan didinginkan, kemudian ditimbang kembali sampai beratnya tetap.

$$\text{Total Solid} = a \times (1000/v)$$

a = Selisih berat cawan setelah dipanaskan dengan sebelum dimasukkan sampel.

v = volume sampel.

#### **Analisa abu dan VS**

Cawan berisi sampel yang telah ditimbang TS-nya kemudian dipanaskan kembali di dalam *muffle furnace* pada suhu 700°C selama 3 jam. Setelah itu cawan penguap didinginkan hingga mencapai suhu kamar dan ditimbang kembali beratnya.

$$\text{Ash [mg/l]} = a \times (1000/v)$$

a = perbedaan berat dari cawan penguap setelah dipanaskan pada suhu 700°C

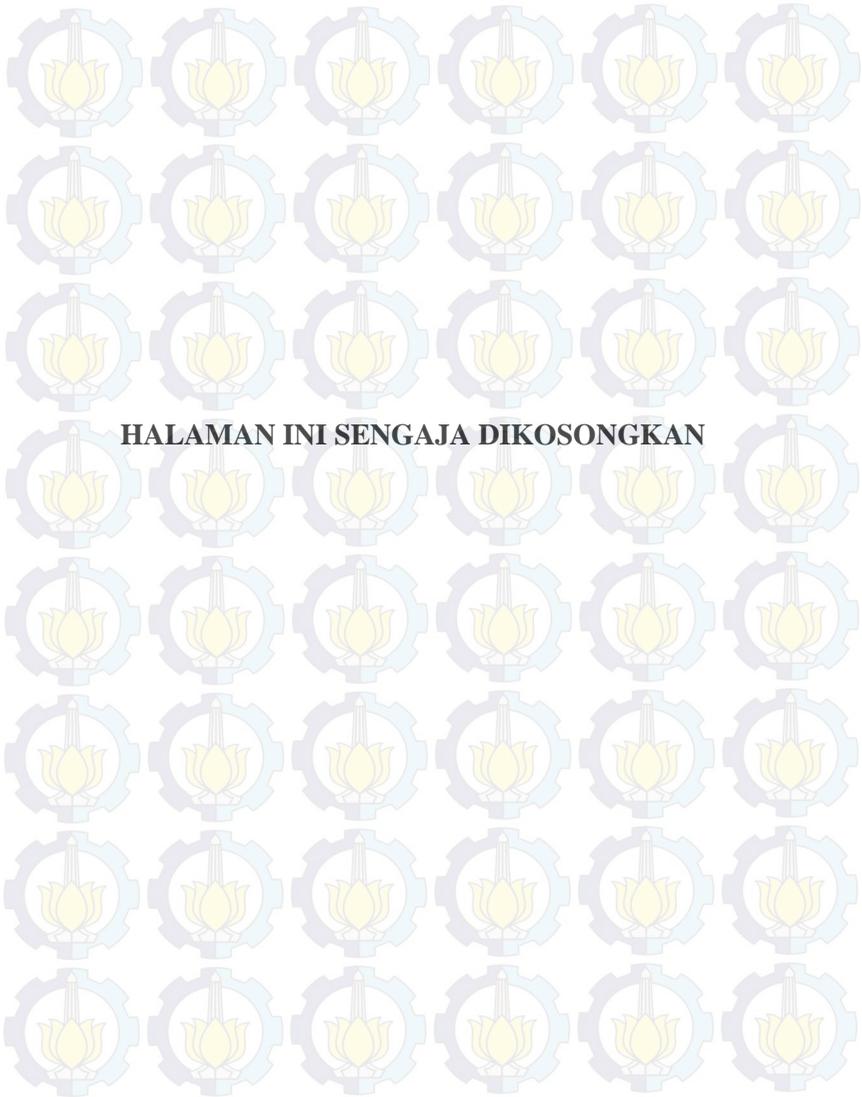
dengan berat cawan kosong.

v = volume sampel.

$$\text{VS [mg/l]} = \text{TS [mg/l]} - \text{Ash [mg/l]}$$

#### **III.4.5.5 Pengukuran COD**

Proses anaerob merupakan proses yang kompleks dengan melibatkan berbagai kelompok bakteri. Keterlibatan antara kelompok ini saling menguntungkan satu sama lainnya karena tidak terjadi saling kompetisi antara kelompok dalam rangka pemanfaatan nutrient atau substrat. Pengolahan limbah secara anaerob merupakan proses degradasi senyawa organik seperti karbohidrat, protein dan lemak yang terdapat dalam limbah cair oleh bakteri anaerob tanpa kehadiran oksigen menjadi biogas yang terdiri dari CH<sub>4</sub> (50-70%) dan CO<sub>2</sub> (25-45%), serta H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S dalam jumlah kecil. Proses anaerob umumnya digunakan untuk mengolah limbah cair dengan COD di atas 4000 mg/l (Syafila dkk,2003)



**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini dilakukan untuk mengolah limbah cair dengan parameter kurva pertumbuhan bakteri, penurunan kadar COD, analisa VFAs, analisa VS & TS, analisa koefisien perpindahan massa yang terjadi setelah proses methanasi, sekaligus untuk mengetahui berapa volume biogas yang terbentuk. Penelitian ini dilakukan dengan variabel volume limbah mikroorganisme rumen 5%, 10%, dan 15%. Sedangkan untuk variabel koefisien perpindahan massa menggunakan variabel pengadukan sebesar 0 rpm, 10 rpm, dan 30 rpm, serta dioperasikan, yaitu temperatur 30° C, tekanan atmosferik. Dari penelitian ini dapat dilihat pengaruh volume limbah terhadap penurunan kadar COD dan volume biogas yang dihasilkan, serta koefisien perpindahan massa yang terjadi.

#### **IV.1 Kurva Pertumbuhan Bakteri terhadap produksi Biogas**

Kurva pertumbuhan bakteri dianalisa dengan cara menghitung jumlah bakteri dengan menggunakan mikroskop. Sampel sebanyak 0.1 ml diencerkan dengan aquades sebanyak 9.9 ml dengan pengenceran 100x. Setelah itu sampel diletakkan di hemasitometer untuk di amati jumlah bakteri dengan menggunakan mikroskop. Kurva pertumbuhan bakteri di amati setiap 5 hari sekali setiap variabel volume mikroorganisme rumen yaitu 5% 10% dan 15%. Setelah didapatkan jumlah bakteri tiap area, seperti yang terdapat pada gambar IV-1 yaitu luasan tiap hemasitometer, selanjutnya jumlah sel dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Jumlah sel/mL} = \frac{(\text{Jumlah sel rata-rata})}{0,002 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times \text{faktor pengenceran}$$

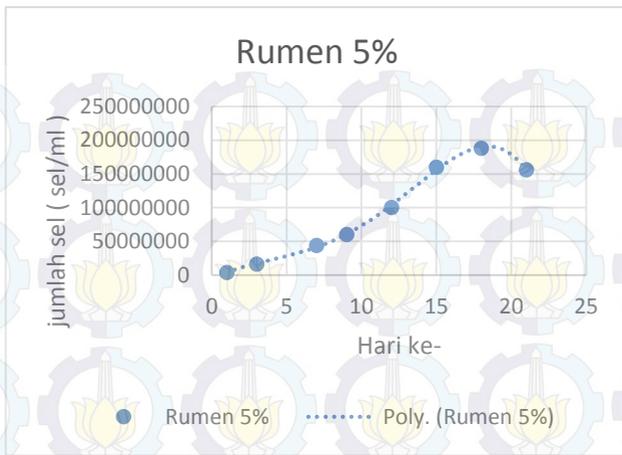
dimana  $0,002 \text{ mm}^2$  merupakan luas area ABCDE dan  $0,1$  merupakan tebal hemesitometer.

A			B
		C	
D			E

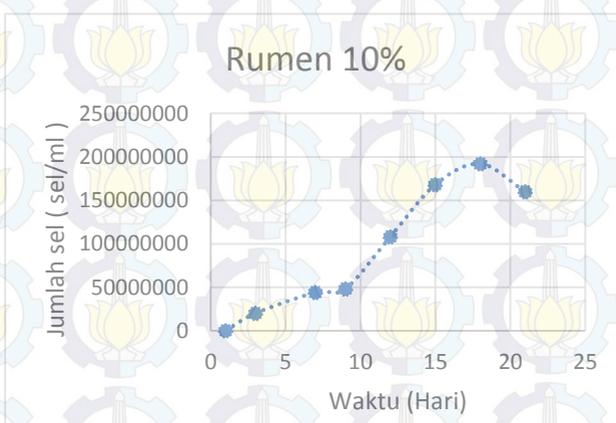
**Gambar IV-1.** Penentuan titik hitung pada hemesitometer

Bakteri rumen terdiri dari jenis gram positif dan gram negatif. Perbedaan utama antara bakteri gram positif dan gram negatif terletak pada struktur dinding sel. Dinding sel bakteri gram negatif merupakan struktur berlapis, sedangkan bakteri gram positif mempunyai satu lapis yang tebal. Bakteri gram positif memiliki kandungan peptidoglikan yang tinggi dibandingkan bakteri gram negatif, disamping itu kandungan lipid pada dinding sel bakteri gram positif lebih rendah dari dinding sel bakteri gram negatif (Waluyo, 2005). Spesies bakteri rumen yang termasuk dalam gram positif antara lain *Lactibacillus ruminis*, *Lactobacillus vitulinus*, *Eubacterium ruminantium*, *Clostridium polysaccarilyticum*, *Streptococcus bovis* dan *Butyrvibrio fibrisolvens*, sedangkan yang termasuk dalam gram negatif antara lain *Prevotella sp.*, *Ruminobacter amylophilus*, *Fibrobacter succinogenes*, (Hobson dan Stewart, 1997).

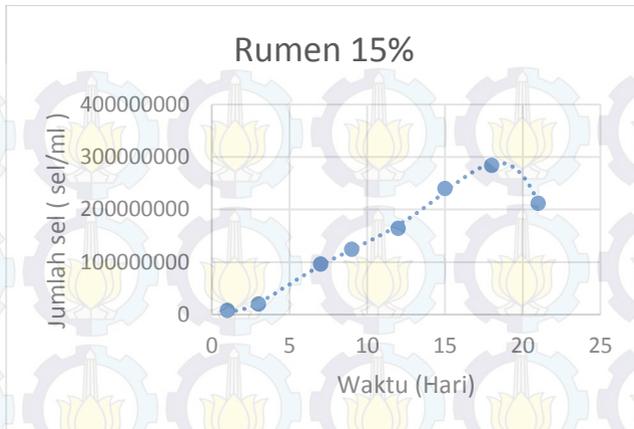
Untuk menghitung jumlah bakteri pada hemasitometer menggunakan metode *counting chamber* tidak dapat membedakan antara sel yang hidup dengan yang mati, sehingga kita menghitung semua jumlah yang ada pada luasan tiap area ABCDE. Untuk membedakan antara sel yang mati dengan yang hidup, dapat digunakan metode pewarnaan sederhana untuk membedakan sel hidup dan sel mati tersebut. Pengamatan mikroskopis sel dapat dilakukan dengan membuat preparat basah yang diberi larutan methylin blue. Pada pengecatan sederhana yaitu pemberian methylin blue 0,1 %, sel mikroorganisme dapat dibedakan antara sel yang mati dengan yang hidup. Pada sel yang mati akan berwarna biru. Sedangkan yang hidup tidak berwarna (transparan). Hal ini disebabkan oleh sifat membran sel yang selektif permeabel. Pewarnaan pada sel didasarkan pada perbedaan permeabilitas antara sel yang hidup dan yang mati, untuk sel yang mati akan lebih tajam/ kontras warnanya karena sel menjadi sangat permeabel terhadap warna. Pada pengamatan sel yang hidup berwarna transparan, warna sel hidup berwarna transparan disebabkan karena sel membrannya masih memiliki sifat selektif permeabel sehingga cat methylen blue tidak dapat masuk. Sedangkan sel mati berwarna biru karena membran selnya tidak memiliki sifat selektif permeabel sehingga cat dapat masuk yang menyebabkan sel berwarna biru. (Pelczar, 1986). Hasil kurva pertumbuhan bakteri dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



**Gambar IV-2.** Kurva Pertumbuhan Bakteri pada variable Rumen 5%



**Gambar IV-3.** Kurva Pertumbuhan Bakteri pada variable Rumen 10%



**Gambar IV-4.** Kurva Pertumbuhan Bakteri pada variable Rumen 15%

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa produksi biogas dapat dilihat bahwa semakin hari jumlah mikroba semakin meningkat. Pertumbuhan sel merupakan puncak aktivitas fisiologis yang saling mempengaruhi secara berurutan. Proses pertumbuhan ini sangat kompleks mencakup pemasukan nutrisi dasar dari lingkungan ke dalam sel, konversi bahan nutrisi menjadi energi dan berbagai konstituen vital sel serta perkembangbiakan. Pertumbuhan mikroba ditandai dengan peningkatan jumlah dan massa sel serta kecepatan pertumbuhan tergantung pada lingkungan fisik dan kimia.

Dari ketiga grafik tersebut di atas dapat diketahui bahwa pertumbuhan bakteri baik pada ketiga variabel volume mikroorganisme rumen tersebut cenderung meningkat, akan tetapi lebih banyak jumlah sel bakteri pada variabel volume mikroorganisme rumen 15%. Karena pertumbuhan bakteri ditandai dengan semakin bertambahnya jumlah sel bakteri. Fase Lag dapat dilihat terjadi peningkatan ukuran sel, mulai pada waktu sel tidak atau sedikit mengalami pembelahan, yang mana pada ketiga grafik terjadi pada hari ke-7 sampai ke-9 pada variabel 5%, 10%, dan 15%. Sedangkan fase eksponensial atau

logaritmik, sel berada dalam keadaan pertumbuhan yang seimbang yang mana pada grafik terdapat pada hari ke-12 sampai ke-15 untuk ketiga variable tersebut. Setelah melewati fase lag dan fase log selanjutnya yaitu fase stasioner, Selama fase ini, jumlah sel yang hidup tetap konstan untuk periode yang berbeda, bergantung pada bakteri, tetapi akhirnya menuju periode penurunan populasi. Pada grafik, fase stasioner ditunjukkan pada hari ke- 18. Sedangkan untuk fase death/ kematian , jumlah sel yang mati lebih banyak daripada sel yang hidup dan pada ketiga grafik ditunjukkan pada hari ke-21. Hasil tertinggi jumlah bakteri terdapat pada variable 15% yaitu pada hari ke-21 sebesar 200.000.000 sel/ml. (Brock,1991)

#### **IV.2 COD (Chemical Oxygen Demand) dalam Proses Fermentasi Anaerobik**

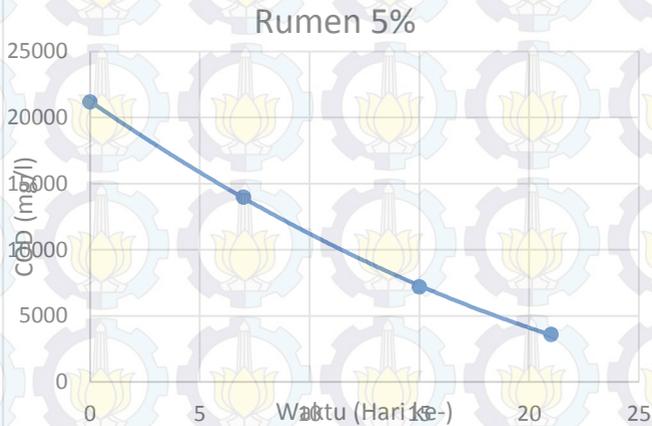
Analisa COD dilakukan dengan mengambil sampel dengan volume tertentu yang kemudian dipanaskan dengan larutan kalium dikromat dengan kepekatan teretentu. Dengan katalis asam sulfat diperlukan waktu dua jam, maka kebanyakan zat organik telah teroksidasi. Dengan penentuan jumlah kalium dikromat yang dipakai, maka COD dapat dihitung. Analisa COD dilakukan setiap 5 hari sekali selama 21 hari.

Perombakan (degradasi) limbah cair organik akan menghasilkan gas metana, karbondioksida dan gas-gas lain serta air. Perombakan tersebut dapat berlangsung secara aerobik maupun anaerobik. Pada proses aerobik limbah cair kontak dengan udara, sebaliknya pada kondisi anaerobik limbah cair tidak kontak dengan udara luar (Sugiharto, 1987).

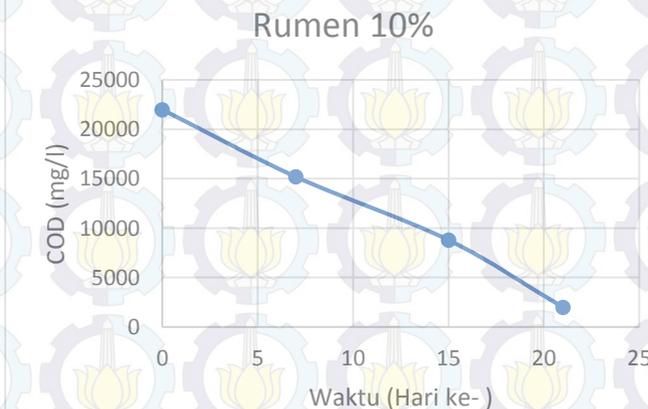
Proses tersebut memerlukan bakteri untuk menguraikan glukosa sampai terbentuk biogas. Terbentuknya biogas diindikasikan dengan turunnya kadar COD. Semakin besar penurunan kadar COD, maka volum biogas yang dihasilkan juga semakin banyak. Penurunan kadar COD dalam digesti anaerobik menunjukkan bahwa material selain asam dapat terdegradasi (Hobson *et al.*, 1984). Dapat dikatakan bahwa proses degradasi

bahan organik kompleks menjadi metan dan biogas berjalan efektif.

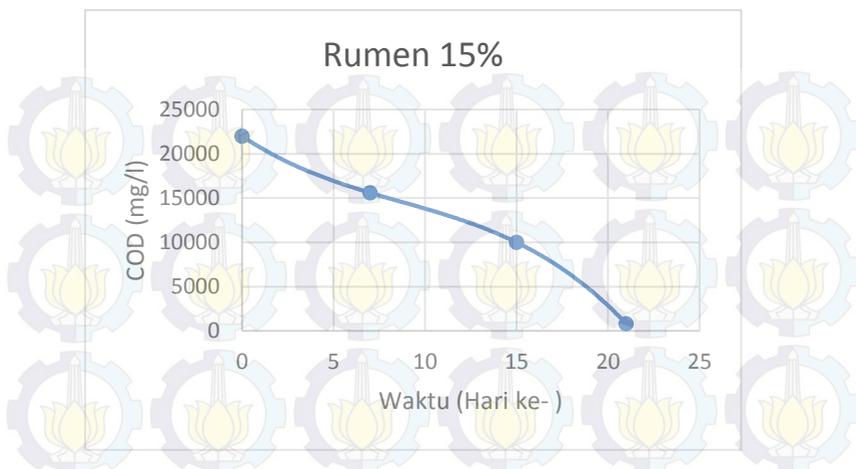
Hasil analisa penurunan kadar COD dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



**Gambar IV-5.** Grafik COD pada variable Rumen 5%



**Gambar IV-6.** Grafik COD pada variable Rumen 10%



**Gambar IV-7.** Grafik COD pada variable Rumen 15%

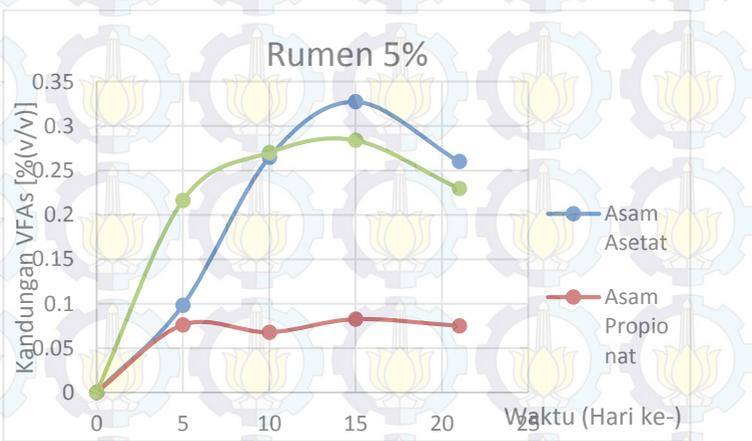
Dari ketiga grafik dapat dilihat bahwa kadar COD cenderung menurun. Penurunan kadar COD yang paling besar pada penelitian ini dicapai pada waktu (hari) ke-21 yaitu sebesar 4000 mg/l untuk variable 5%; 2800 mg/l untuk variable 10%; dan 3200 mg/l untuk variable 15%. Waktu tinggal dalam reaktor anaerob sangat mempengaruhi penurunan kadar COD, karena bakteri memerlukan waktu untuk menguraikan senyawa organik menjadi biogas. Semakin banyak penurunan kadar COD, maka volume biogas yang dihasilkan semakin banyak (Nkemka,2015)

### **IV.3 Pengaruh VFAs (Volatile fatty Acids) Terhadap Kandungan Biogas**

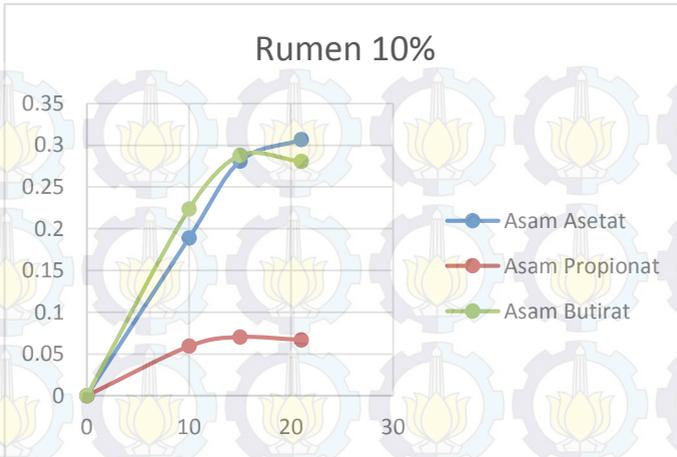
Untuk menganalisa kandungan VFAs Sampel slurry diambil melalui sampling valve digester dengan menggunakan syringe dan selang kemudian ditampung ke dalam eppendoff 1,5 ml, kemudian disentrifuge untuk me-misahkan filtrat dan endapan. Filtrat kemudian di analisis VFAnya dengan menggunakan menggunakan Gas Chromatography (GC). Analisa dilakukan setiap 5 hari sekali.

Asam *volatile* diubah menjadi metan dan CO<sub>2</sub> dan produk lain (Shuler dan Kargi, 2002; Polpra-sert, 1995). Kadar VFA, terutama asam asetat, terus meningkat seiring dengan waktu produksi. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan mikrobia aseto-genik meningkat, berpengaruh pada jumlah produksi biogas yang meningkat.

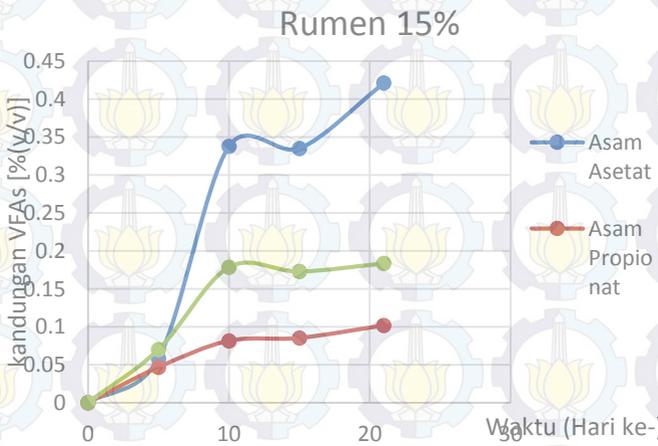
Data analisa VFAs dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



**Gambar IV-8** Grafik VFAs pada variable Rumen 5%



**Gambar IV-9** Grafik VFAs pada variable Rumen 10%



**Gambar IV-10.** Grafik VFAs pada variable Rumen 15%

Beberapa faktor yang mempengaruhi konsentrasi VFA antara lain pemanfaatan mikroba, penyerapan serta fermentabilitas dari karbohidrat. VFAs terdiri dari VFAs adalah precursor metana, semakin tinggi VFAs maka semakin tinggi konversi yield metana yang dihasilkan. Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai VFAs cenderung meningkat sehingga konversi metana yg dihasilkan juga tinggi. (Kivaisi, 1994).

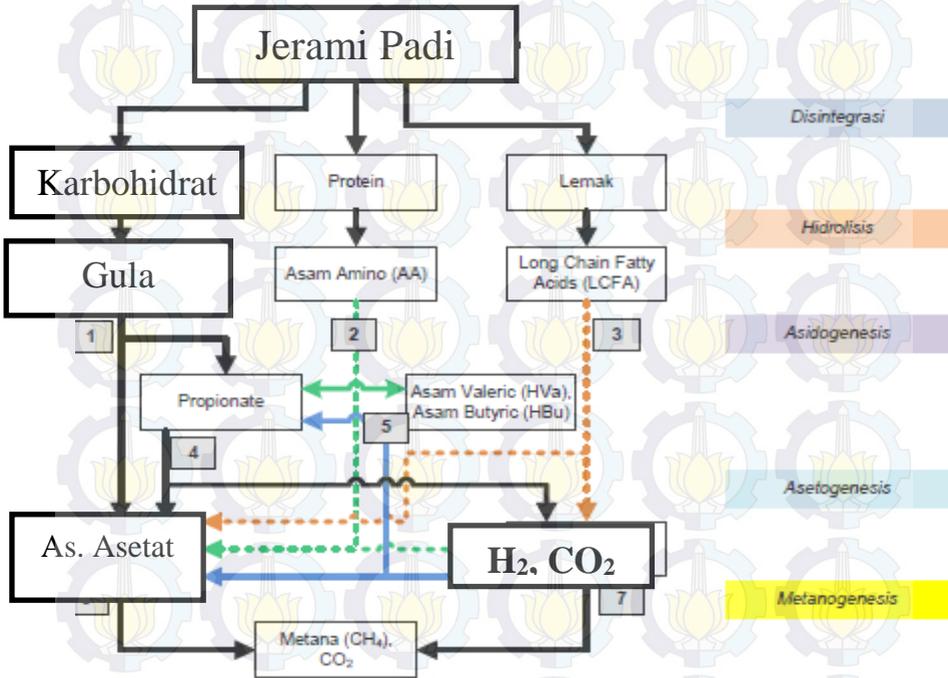
#### **IV.4 Kandungan Metana (CH<sub>4</sub>)**

Untuk menganalisa kandungan gas metana dalam sampel dengan menggunakan Gas Chromatography (GC). Untuk Pengambilan sampel gas dilakukan dengan penyedotan menggunakan *syringe* yang disuntikkan melalui selang yang terhubung pada kran digester kemudian secepatnya ditampung ke dalam venaject. Analisis kadar metana dilakukan dengan gas kromatografi (GC).

Selama proses fermentasi anaerob limbah cair sampai menghasilkan biogas dibutuhkan lima bakteri kelompok fisiologi yang semuanya terlibat pada seluruh proses fermentasi. Menurut Brock (1991), untuk mengubah polisakarida menjadi metan melibatkan lima bakteri utama kelompok fisiologi pada seluruh proses. Bakteri-bakteri tersebut, yaitu bakteri selulolitik atau bakteri hidrolitik, bakteri fermentatif, bakteri asam asetat (acetogen), bakteri yang menghasilkan H<sub>2</sub> dan mengoksidasi asam lemak, dan bakteri metanogenik (metanogen). Bakteri pembentuk asam antara lain: *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes* yang mendegradasi bahan organik menjadi asam-asam lemak. Selanjutnya asam-asam lemak didegradasi menjadi biogas yang sebagian besar adalah gas metana oleh bakteri metana antara lain: *Methanobacterium*, *Methanosarcina*, dan *Methanococcus*.

Proses fermentasi anaerobik berlangsung dalam 3 tahap secara berantai, yaitu tahap hidrolisa, acidogenesis, dan metanogenesis. Tahap hidrolisa, yaitu menguraikan senyawa organik (polimer) menjadi senyawa organik sederhana(monomer). Tahap acidogenesis, mengubah senyawa

organik sederhana menjadi asam organik yang mudah menguap, seperti asam asetat, asam butirat, asam propionat. Tahap metanogenesis, yaitu tahap pembentukan methana oleh bakteri metanogenesis.



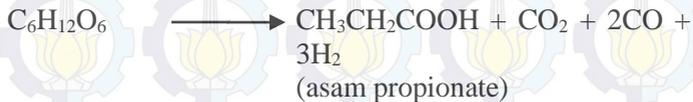
**Gambar IV- 11.** Tahapan Proses Anaerobik Yang Sinergis dan Berkesinambungan (Yadvika dkk., 2004).

Berdasarkan bagan di atas, dapat dilihat bahwa proses fermentasi berlangsung pada 3 tahap yaitu, tahap hidrolisis, tahap acidogenesis, dan tahap metanogenesis.

1. **Tahap hidrolisis**, molekul organik kompleks dipecah menjadi unit yang lebih kecil sebagai contoh gula / monosakarida, asam amino, alcohol, fatty acid, dan senyawa organik lain yang lebih sederhana. Reaksi yang terjadi :



2. **Tahap Acidogenesis** ; pada proses ini bakteri acidogenic (bakteri penghasil asam) memecah molekul gula menjadi volatil fatty acid misalnya laktat, butirat, propionate, dan asetat, juga terbentuk karbondioksida,  $NH_3$ ,  $H_2S$  dan  $H_2$  (Grande). Jenis reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut



3. **Tahap Metanogenesis** ; pada proses ini, bakteri mengubah  $H_2$  dan asam asetat menjadi  $CO_2$ ,  $CH_4$  dan air, dan mengubah  $H_2$  dan asam propionat menjadi  $CH_4$  (Yadvika et. al., 2004). Jenis-jenis reaksinya adalah sebagai berikut :

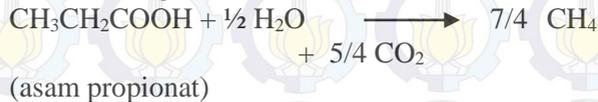
- a. *Hydrogenotrophic metanogens*, proses metanogen yang menggunakan hidrogen dan bereaksi dengan karbon dioksida.



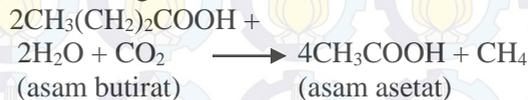
- b. *Acetrophic metanogens*, disebut juga *acetoclastic* atau metanogen yang memecah asam asetat menjadi metana dan CO<sub>2</sub> oleh bakteri.



- c. Pembentukan metana dari asam propionate yang bereaksi dengan air



- d. Proses metanogenesis dengan reaksi antara asam butirat dengan air dan karbondioksida



Pada hasil penelitian ini dapat dibuat hubungan antara beberapa analisa pada penelitian ini, sesuai dengan tahap di atas yaitu tahap hidrolisis, acidogenesis, dan metanogenesis dapat dilihat bahwa :

- Pada variable rumen 5%

Berdasarkan kurva VFAs pada hari ke- 5 Asam organik mulai meningkat secara drastis hal ini menunjukkan tahap acidogenesis mulai terjadi pada hari tersebut. Tahap Hidrolisa diperkirakan terjadi sebelum hari ke-5 dalam tahapan hidrolisis terjadi pemecahan enzimatik dari bahan yang tidak mudah larut seperti lemak, polisakarida, protein, asam nukleat dan lain-lain menjadi bahan yang mudah larut. Protein dihidrolisis menjadi asam-asam amino, karbohidrat menjadi gula-gula sederhana, sedang lemak diurai menjadi asam rantai pendek. Tahap hidrolisis karbohidrat membutuhkan waktu beberapa jam dan untuk hidrolisis protein dan lipid membutuhkan waktu beberapa hari. (Deublein dan Steinhauser ,2008). Setelah hari ke 10 berdasarkan kurva kandungan metana didapat kan bahwa kandungan metana

meningkat terus menerus bahkan hingga hari ke 21 kandungan metana masih belum mencapai fase stasioner hal ini menunjukkan bahwa tahap metanogenesis berlangsung setelah hari ke 10 sampai melebihi hari ke 21. Pada tahap ini bakteri metanogenik mendekomposisikan senyawa dengan berat molekul rendah menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi. Sebagai contoh bakteri ini menggunakan hidrogen, CO<sub>2</sub> dan asam asetat untuk membentuk metana dan CO<sub>2</sub>.

- Pada variable rumen 10%

Pada variable rumen 10% tahap hidrolisis diperkirakan terjadi pada kurang dari 5 hari pertama sama dengan variable 5% dimana pada hari tersebut kandungan metana belum mengalami peningkatan yang besar begitu pula dengan asam organik yang bisa dilihat pada kurva VFAs, asam organik tersebut baru mengalami peningkatan yang besar pada hari ke 5. Berdasarkan kurva VFAs juga tahap asidogenesis merupakan tahap dimana bakteri menghasilkan asam, mengubah senyawa rantai pendek hasil proses pada tahap hidrolisis menjadi asam asetat, hidrogen dan karbondioksida mulai terjadi pada hari ke 5. Setelah hari ke 10 berdasarkan kurva kandungan metana didapat bahwa kandungan metana meningkat terus menerus bahkan hingga hari ke 21 kandungan metana masih belum mencapai fase stasioner hal ini menunjukkan bahwa tahap metanogenesis berlangsung setelah hari ke 10 sampai melebihi hari ke 21. Pada tahap ini bakteri metanogenik mendekomposisikan senyawa dengan berat molekul rendah menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi. Sebagai contoh bakteri ini menggunakan hidrogen, CO<sub>2</sub> dan asam asetat untuk membentuk metana dan CO<sub>2</sub>.

- Pada variable rumen 15%

Sama dengan variable rumen 5% dan 10% Berdasarkan kurva VFAs pada hari ke- 5 Asam organik mulai meningkat secara drastis hal ini menunjukkan tahap asidogenesis mulai terjadi pada hari tersebut. Tahap Hidrolisa diperkirakan terjadi

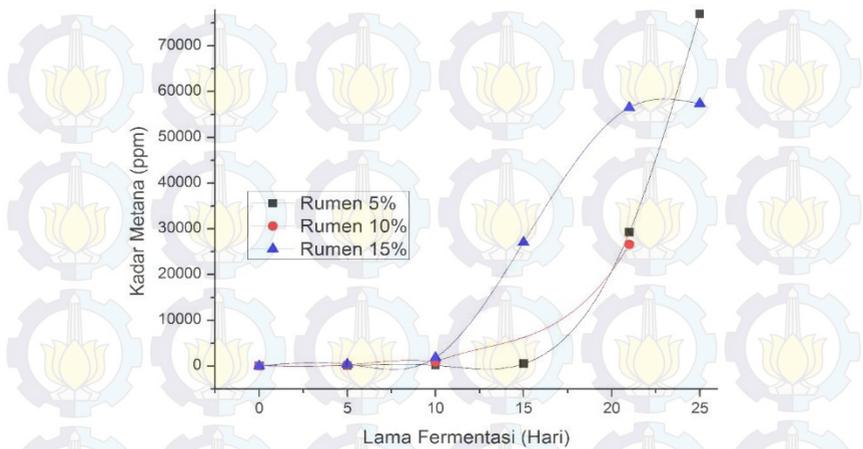
sebelum hari ke-5 dalam tahapan hidrolisis terjadi pemecahan enzimatis dari bahan yang tidak mudah larut seperti lemak, polisakarida, protein, asam nukleat dan lain-lain menjadi bahan yang mudah larut. Protein dihidrolisis menjadi asam-asam amino, karbohidrat menjadi gula-gula sederhana, sedang lemak diurai menjadi asam rantai pendek. Tahap hidrolisis karbohidrat membutuhkan waktu beberapa jam dan untuk hidrolisis protein dan lipid membutuhkan waktu beberapa hari. (Deublein dan Steinhäuser, 2008). Setelah hari ke 10 berdasarkan kurva kandungan metana didapat bahwa kandungan metana meningkat terus menerus hingga hari ke 21 setelah hari ke 21 kandungan metana mulai mengalami fase stasioner hal ini menunjukkan bahwa tahap metanogenesis berlangsung setelah hari ke 10 sampai hari ke 21 karena setelah hari ke 21 kandungan metana yang dihasilkan mulai mengalami penurunan. Pada tahap ini bakteri metanogenik mendekomposisikan senyawa dengan berat molekul rendah menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi. Sebagai contoh bakteri ini menggunakan hidrogen,  $\text{CO}_2$  dan asam asetat untuk membentuk metana dan  $\text{CO}_2$ .

Produksi metan ini dipengaruhi oleh pertumbuhan bakteri metanogenik yang mengubah asam volatil menjadi metan dan  $\text{CO}_2$  dan produk lain (Shuler dan Kargi, 2002; Polprasert, 1995), sehingga laju pembentukan metan seiring dengan laju pertumbuhan bakteri metanogenik.

Energi yang terkandung dalam gas bio tergantung dari konsentrasi metan ( $\text{CH}_4$ ). Semakin tinggi kandungan metan maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metan semakin kecil nilai kalor (Pambudi, 2008).

Biogas yang dihasilkan pada penelitian ini diindikasikan dengan turunnya kadar COD selama proses. Semakin banyak penurunan kadar COD, maka volum biogas yang dihasilkan semakin banyak. (Nkemka, 2011).

Hasil analisa Gas metana dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



**Gambar IV-12** Grafik kandungan Methane

Dari grafik dapat dilihat bahwa kandungan gas methane semakin hari semakin naik, hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu fermentasi, maka konsentrasi metana akan terus naik sampai memasuki fase stasioner (M. Cater dkk, 2015). Seperti pada Grafik di bawah ini, yang menjelaskan estimasi produksi metana sepanjang waktu.

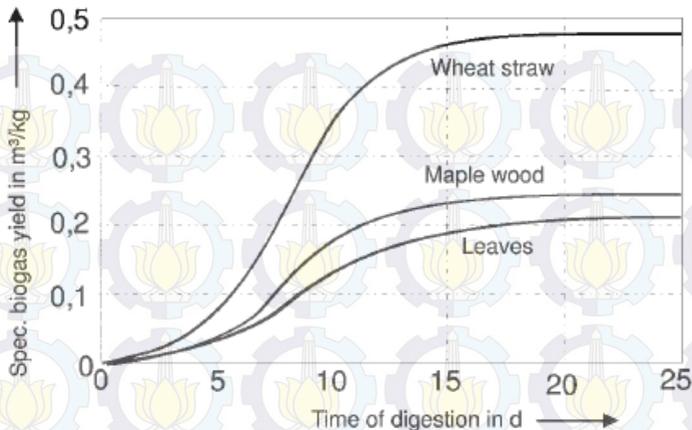
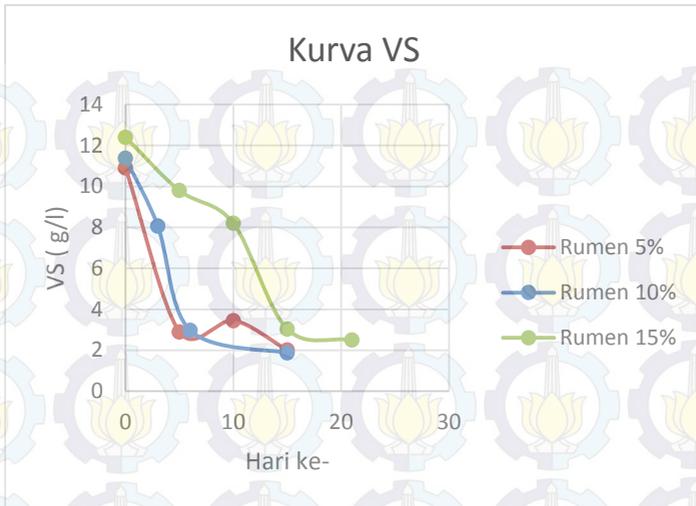


Figure 2.7 Biogas yield in relation to the type of cellulose biomass.<sup>49)</sup>

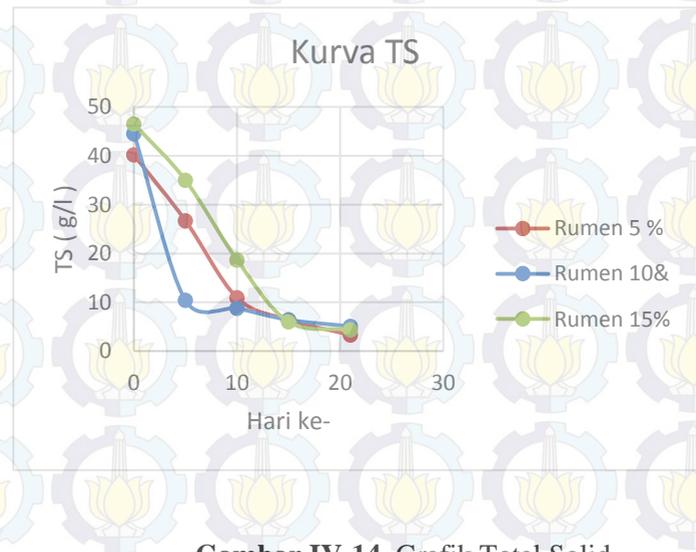
**Gambar IV-13.** Grafik Yield Biogas vs waktu fermentasi ( Deublin, 2008 )

#### IV.5 Pengaruh VS (Volatile Solid) dan TS (Total Solid)

Jumlah TS biasanya direpresentasikan dalam % TS bahan baku organik. *Volatile solid* (VS) merupakan materi organik atau padatan organik yang menguap pada proses pembakaran diatas 500°C. Analisa VS ini perlu dilakukan untuk mengetahui banyaknya materi organik yang bisa menguap. Materi organik inilah yang akan dikonversikan menjadi biogas oleh bakteri metana., jumlah VS biasanya direpresentasikan dalam % VS. Hasil pengujian VS dan TS dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



**Gambar IV-13. Grafik Volatile Solid**



**Gambar IV-14. Grafik Total Solid**

Nilai padatan total (TS) cenderung mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena bahan organik mengalami degradasi padasaat hidrolisis. Sedangkan nilai padatan volatile (VS) juga cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan bahan organik yang sudah ada mengalami reaksi hidrolisi hingga reaksi metahlogenesis. (Herawati, 2003).

#### **IV.6 Koefisien Perpindahan Massa Pada Proses Fermentasi Anaerobik**

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui koefisien perpindahan massa  $CH_4$  dari liquid ke gas. Analisa dilakukan dengan cara menghitung oksigen yang terlarut menggunakan DO meter.  $CH_4$  merupakan gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah sama halnya dengan  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ . Analisa dilakukan dengan menggunakan oksigen dikarenakan oksigen merupakan gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah, yang mana sama dengan kelarutan  $CH_4$ . Sehingga, dianalogikan dengan menggunakan gas  $O_2$  (Andre, 1990).

Dalam hal ini dapat menggunakan gas oksigen untuk menghitung  $k_L$  a metana agar pengukurannya lebih mudah. Gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah terdiri dari gas  $CH_4$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ , dan  $H_2$ . Oleh karena itu pengukuran dalam penelitian ini dapat menggunakan oksigen karena merupakan gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah, jadi sifat fisik yang dimiliki sama. Pengukuran menggunakan oksigen diperbolehkan karena merupakan prosedur yang paling sederhana.  $K_L a$  nilainya sebanding dengan nilai akar dari diffusivitasnya. Sehingga, untuk menghitung  $K_L a$  dari metana dapat dihitung berdasarkan  $k_L$  a oksigen ( $O_2$ ) (Beckers, 2015).

Sifat – sifat liquida seperti densitas, tegangan permukaan dan difusitas, kecepatan pengadukan serta viskositas. Semua faktor – faktor tersebut akan mempengaruhi koefisien perpindahan massa. Hasil nanalisa dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

**Tabel. IV-1.** Tabel KLa CH<sub>4</sub> tiap variabel rumen dan RPM

Volume rumen	Viskositas $\mu$ (Cst)	kLa CH <sub>4</sub> /jam		
		0 RPM	10 RPM	30 RPM
5%	7.69375	5.406	5.556	5.181
10%	7.65	4.205	5.481	5.706
15%	7.65625	5.481	5.631	6.157

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa untuk variabel RPM semakin tinggi RPM maka KLa juga semakin tinggi pula. Hal ini berdasarkan literature bahwa Semakin besar kecepatan rotasi (rpm) sampai kecepatan rotasi critical maka semakin besar pula koefisien transfer massanya. Apabila kecepatan rotasi sudah melebihi kecepatan rotasi critical maka koefisien transfer massanya akan mulai menurun (Francesca,2013). Selain itu pada variable volume rumen yang digunakan menunjukkan perbedaan viskositas perbandingan nilai viskositas yang semakin besar volume rumen maka semakin kecil viskositasnya. Menurut Francesca,2013 menyatakan bahwa semakin kecil nilai viskositas maka semakin besar koefisien transfer massanya.

Koefisien perpindahan massa volumetrik,  $k_L a$ , dipengaruhi oleh variabel-variabel bilangan Reynolds, bilangan Schmidt. Koefisien perpindahan massa umumnya dinyatakan dalam bentuk bilangan Sherwood. Korelasi empirik bilangan Sherwood melibatkan bilangan Reynold dan bilangan Schmidt. Dari hasil perhitungan didapatkan error sebesar 0,82 yang mana perhitungan terlampir pada appendiks.

**Tabel IV-2** Tabel kandungan metana vs  $k_L a$   $CH_4$

Volume Rumen	$k_L a$ $CH_4$	Metana (ppm)
5%	5.406	29215.20
10%	4.2	26555
15%	5.481	56484.00

Setelah didapatkan perhitungan nilai  $k_L a$   $CH_4$ , apabila dihubungkan dengan kandungan gas metana yang didapatkan, dapat diketahui bahwa koefisien perpindahan massa ( $k_L a$ )  $CH_4$  yang tinggi, didapatkan kandungan gas metana yang tinggi pula, hal ini disebabkan karena proses transfer massa  $CH_4$  yang terlarut pada liquid ke gas terjadi lebih cepat.

Dari hasil perhitungan didapatkan untuk nilai  $k_L a$  variable volume rumen 5% sebesar 5,406/jam dengan kandungan gas metana terbesar sebesar 29215,20 ppm. Untuk variabel volume 10% sebesar 4,205/jam dengan kandungan metana terbesar sebesar 26555 ppm. Sedangkan untuk variable volume 15% sebesar 5.481/jam dengan kandungan metana 56484 ppm. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa hasil  $k_L a$   $CH_4$  sebanding dengan hasil metana yang didapat. Sehingga, dapat diketahui bahwa koefisien perpindahan massa  $CH_4$  dari  $CH_4$  yang terlarut pada liquid ke gas terjadi lebih cepat. Menurut Andre Pauss, 1990 didapatkan juga nilai koefisien perpindahan massa yang sebanding dengan kandungan metana yang dihasilkan, pada percobaan batch didapatkan antara lain  $k_L a$  sebesar 0.018/ jam dengan kandungan metana sebesar 8000 ppm serta pada  $k_L a$  sebesar 0.02/jam dengan kandungan metana sebesar 9300 ppm. Dari penelitian (Andre Pauss, 1990) tersebut dapat dilihat bahwa kandungan metana yang terbesar didapatkan dari nilai  $k_L a$  yang besar pula.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

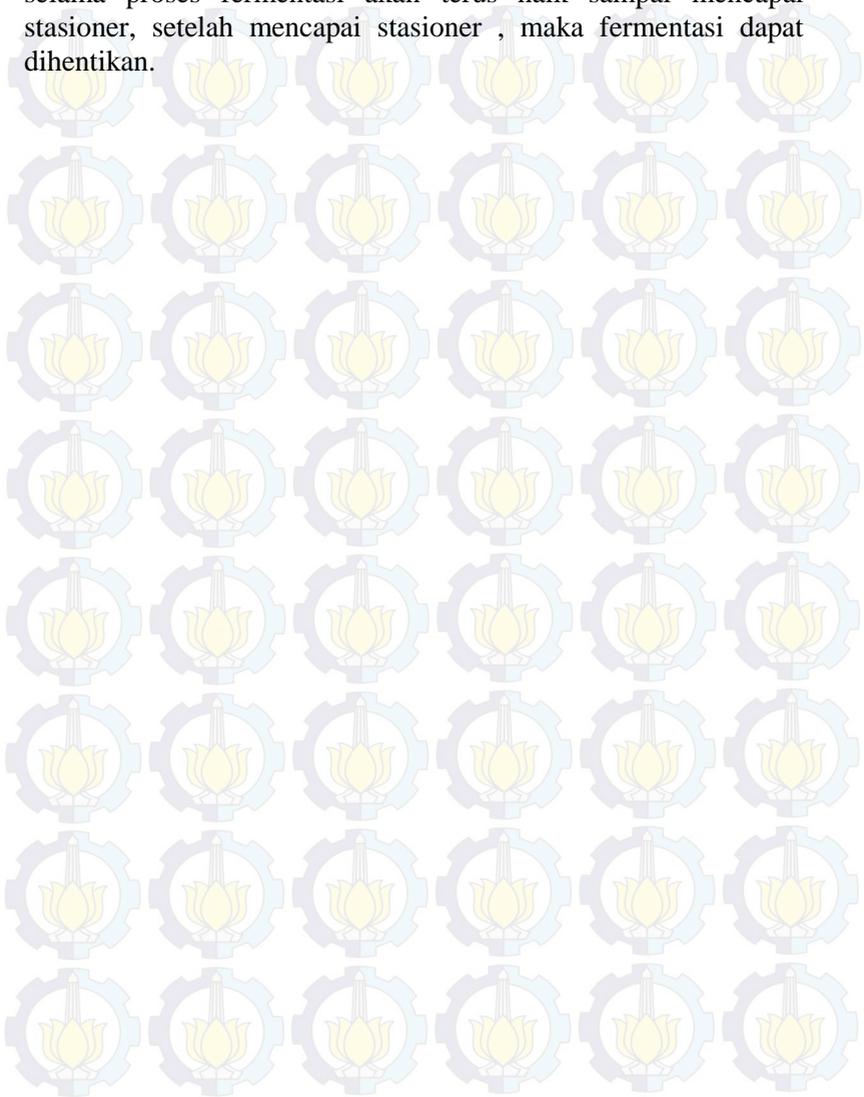
Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Memproduksi Metana dari jerami padi dengan mikroorganisme cairan rumen didapatkan hasil metana tertinggi pada hari ke-21. Untuk variabel 5% sebesar 29215,2 ppm, variabel 10% sebesar 26555 ppm, dan untuk variabel 15% sebesar 56484 ppm.
2. Pengaruh mikroorganisme cairan rumen pada fermentasi anaerobic dipengaruhi :
  - a. Semakin besar penurunan kadar COD, maka volume biogas yang dihasilkan juga semakin banyak. Penurunan kadar COD yang paling besar pada penelitian ini dicapai pada waktu (hari) ke-21 yaitu sebesar 7200 mg/l untuk variable 5%; 4800 mg/l untuk variable 10%; dan 3600 mg/l untuk variable 15%.
  - b. Semakin tinggi VFas maka semakin tinggi metana yang dihasilkan.
  - c. Nilai padatan total (TS) cenderung mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena bahan organik mengalami degradasi pada saat hidrolisis. Sedangkan nilai padatan volatile (VS) juga cenderung mengalami penurunan.
3. Koefisien perpindahan massa ( $k_L a$ )  $CH_4$  sebanding dengan hasil metana yang didapat. Sehingga, dapat diketahui bahwa koefisien perpindahan massa  $CH_4$  dari  $CH_4$  yang terlarut pada liquid ke gas terjadi lebih cepat.

#### **V.2 Saran**

Sebaiknya fermentasi tetap dilanjutkan setelah hari ke-21 sampai gas metana mencapai grafik stasioner. Karena menurut literatur (M Cater et al,2015) dan (Dieter Deublin et al,2008),

kurva konsentrasi metana vs Waktu fermentasi yang terjadi selama proses fermentasi akan terus naik sampai mencapai stasioner, setelah mencapai stasioner , maka fermentasi dapat dihentikan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Baba, Y., Tada, C., Fukuda, Y., Nakai, Y., 2013, "Improvement of Methane Production from Waste Paper by Pretreatment of Rumen Fluid", *Bioresource Technology*, Vol. 128, Hal. 94-99
- Brock, T.D., Madigan. 1991. "Biology of Microorganisms 6<sup>th</sup> .. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey
- Corro, G., Panigua, L., Pal, U., Banuelos, F., Rosas, M., 2013, "Generation of Biogas from Coffee Pulp and Cow-Dung Co-Digestion: Infrared studies of postcombustion emission", *Energy Conversion and Management*, Vol. 74, hal. 471-481.
- Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S., 2008, "Inhibition of Anaerobic Digestion Process : A Review", *Bioresource Technology*, Vol. 99, Hal. 4044 - 4064
- Deublein D., Steinhauser A., 2008, "Biogas from Waste and Renewable Sources: An Introduction", *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim*
- Hungate, R.E., 1966, "The Rumen and Its Microbes", Academic Press, New York and London.
- Hu Z.H., Yu H.Q., 2006, "Anaerobic Digestion of Cattail by Rumen Cultures", *Waste Management*, Vol 26. Hal. 1222-1228.
- Kivaisi, A.K. and S. Eliapenda. 1995. "Application of Rumen Microorganism for Enhanced Anaerobic Degradation of Bagasse and Maize Bran". *Biomass and Bioenergy*. B(1):45-50
- Nkemka, N.V., Brandon G. 2015. "Bioaugmentation with an Anaerobic Fungus in a Two-Stage Process for Biohydrogen and Biogas Production using Corn Silage and Cattail". *Bioresource Technology*, 185, 79-88
- Pauss A., Gerald A. 1990. "Liquid to Gas Mass Transfer in Anaerobic Process: Inevitable Transfer Limitations of

Methane and Hydrogen in the Biomethanation Process". Applied And Environmental Microbiology, Vol 56

Sitorus, T.F., 2002, "Peningkatan Nilai Nutrisi Jerami Padi dengan Fermentasi Ragi Isi Rumen", Program Studi Magister Ilmu Ternak Program Pasca Sarjana Fakultas Peternakan Universitas Diponegoro, Semarang.

Shuler, M.L. and F.Kargi. 2002. "Bioprocess Engineering 2<sup>nd</sup> ed". Prentice-Hall, Inc. USA

Takenaka, A., 2008, "The Properties of Rumen Microorganism And Their Contribution to Methane Production", *National Institute of Livestock and Grassland Science*, Japan

Ueno, Y., Tatara, M., Fukui, H., Makiuchi, T., Gotto, M., Sode, K., 2007, "Production of Hydrogen and Methane from Organic Solid Wastes by phase-separation of an anaerobic process", *Bioresources Technology*, Vol 98, Hal 1861-1865

Underwood, A.L., 2001, "Analisa Kimia Kuantitatif", PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta

Vartak, D.R., Angler, C.R., Riche, S.C., McFarland, M.J., 1997a, "Organic Loading Rate and Bio-Augmentation Effects in Psychrophilic Anaerobic Digestion of Dairy Manure, In: ASAE Annual International Meeting, Minneapolis, Minnesota, USA, 10-14 August, Pepr-American Society of Agricultural Engineers.

Widjaya, A., 2009, "Aplikasi Bioteknologi pada Industri Pulp dan Kertas", ITS Press, Surabaya

Yadvika, Santosh, Sreekishnan T.R., Kohli, S., Rana, V., 2004, "Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Technique-A Review", *Bioresource Technology*, Vol 95, Hal 1-10.

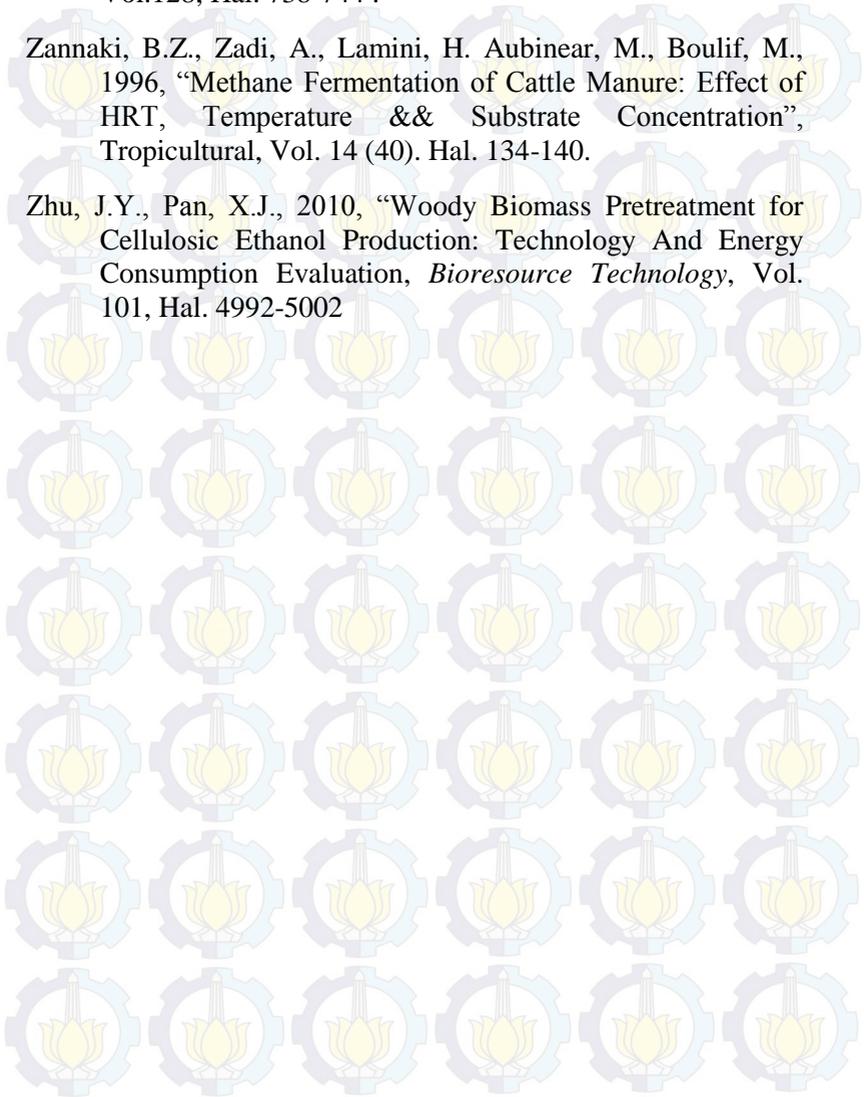
Yuniarta, D.V., Reapradana, Y., 2007, "Upaya Peningkatan Produksi Biogas", Skripsi, Jurusan Teknik Kimia, FTI-ITS

Yue, Z. B., Li W.W., Yu H.Q., 2013, "Application of Rumen Microorganism for Anaerobic Bioconversion of

Lignocelulosic Biomass”, *Bioresource Technology*, Vol.128, Hal. 738-744 .

Zannaki, B.Z., Zadi, A., Lamini, H. Aubinear, M., Boulif, M., 1996, “Methane Fermentation of Cattle Manure: Effect of HRT, Temperature && Substrate Concentration”, *Tropicultural*, Vol. 14 (40). Hal. 134-140.

Zhu, J.Y., Pan, X.J., 2010, “Woody Biomass Pretreatment for Cellulosic Ethanol Production: Technology And Energy Consumption Evaluation, *Bioresource Technology*, Vol. 101, Hal. 4992-5002



# APPENDIKS

## A.1 Perhitungan Analisa COD

- I. Pembuatan larutan pereaksi
  - a. Pembuatan Standar primer  $K_2Cr_2O_7$  0.05 N  
Larutkan 0.6129 gram  $K_2Cr_2O_7$  anhidrous dalam labu ukur hingga volumenya 250 ml.
  - b. Larutan Standar Ferro Aluminium 0.05 N  
Larutkan 9.8035 gram FAS dalam 10 ml  $H_2SO_4$  pekat, kemudian tambahkan aquadest hingga volumenya 500 ml.
  - c. Larutan Katalis  
Tambahkan 5.0551 gram  $Ag_2SO_4$  ke dalam 500 ml  $H_2SO_4$  pekat, atau 1.375 gram  $Ag_2SO_4$  ke dalam 0.25 kg  $H_2SO_4$  pekat. Biarkan 1-2 hari untuk melarutkan  $Ag_2SO_4$
- II. Prosedur Analisis COD
  - a. Pipet 10 ml sampel ( dengan pengenceran 50x)
  - b. Tambahkan  $Hg_2SO_4$  sebesar 0.5 gram
  - c. Tambahkan 15 ml Larutan katalis dan larutan standar primer  $K_2Cr_2O_7$  5 ml.
  - d. Masukkan batu didih, kemudian panaskan hingga 2 jam
  - e. Dinginkan terlebih dahulu, lalu tambahkan 2-4 tetes indicator feroin
  - f. Titrasi larutan sample dengan larutan standar FAS sampai terjadi perubahan warna dari biru kekuningan menjadi cokelat
  - g. Perhitungan

$$\text{COD (mg / L. O}_2\text{)} = \frac{(A - B) \times N \text{ FAS} \times 8000}{V \text{ sampel}}$$

Tabel. A.1 Data Analisa COD pada variable Rumen 5%

Hari ke	a(ml FAS blanko)	b(ml FAS sample)	N(N FAS)	ml sample	COD	COD (mg/l)
0	9	3.7	0.1	10	424	21200
7	9	5.5	0.1	10	280	14000
15	9	7.2	0.1	10	144	7200
21	9	8	0.1	10	80	4000

Tabel. A.2 Data Analisa COD pada variable Rumen 10%

Hari ke	a(ml FAS blanko)	b(ml FAS sample)	N(N FAS)	ml sample	COD	COD (mg/l)
0	9	3.5	0.1	10	440	22000
7	9	5.2	0.1	10	304	15200
15	9	7.8	0.1	10	96	4800
21	9	8.3	0.1	10	56	2800

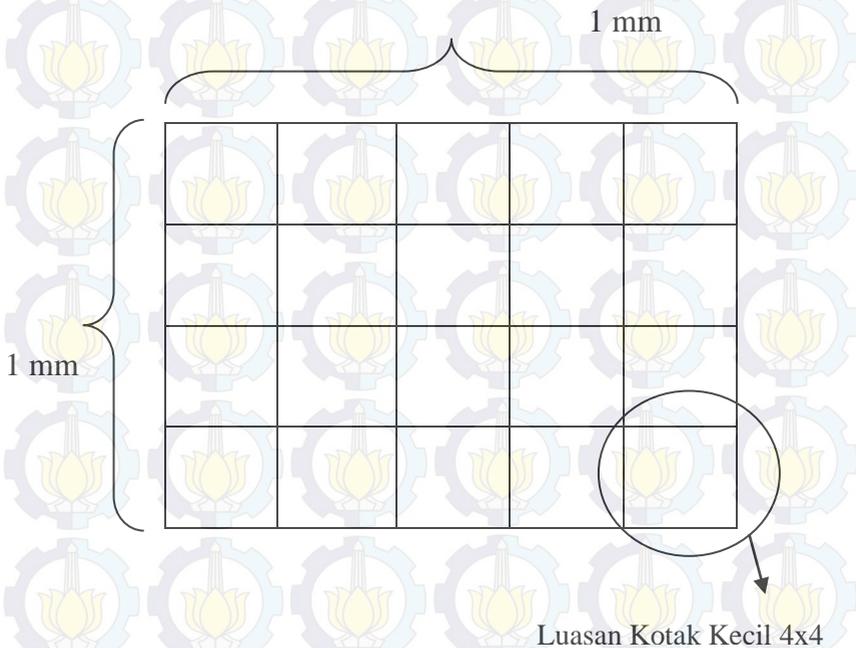
Tabel. A.3 Data Analisa COD pada variable Rumen 15%

Hari ke	a(ml FAS blanko)	b(ml FAS sample)	N(N FAS)	ml sample	COD	COD (mg/l)
0	9	3.5	0.1	10	440	22000
7	9	5.1	0.1	10	312	15600
15	9	8.1	0.1	10	72	3600
21	9	8.5	0.1	10	40	2000

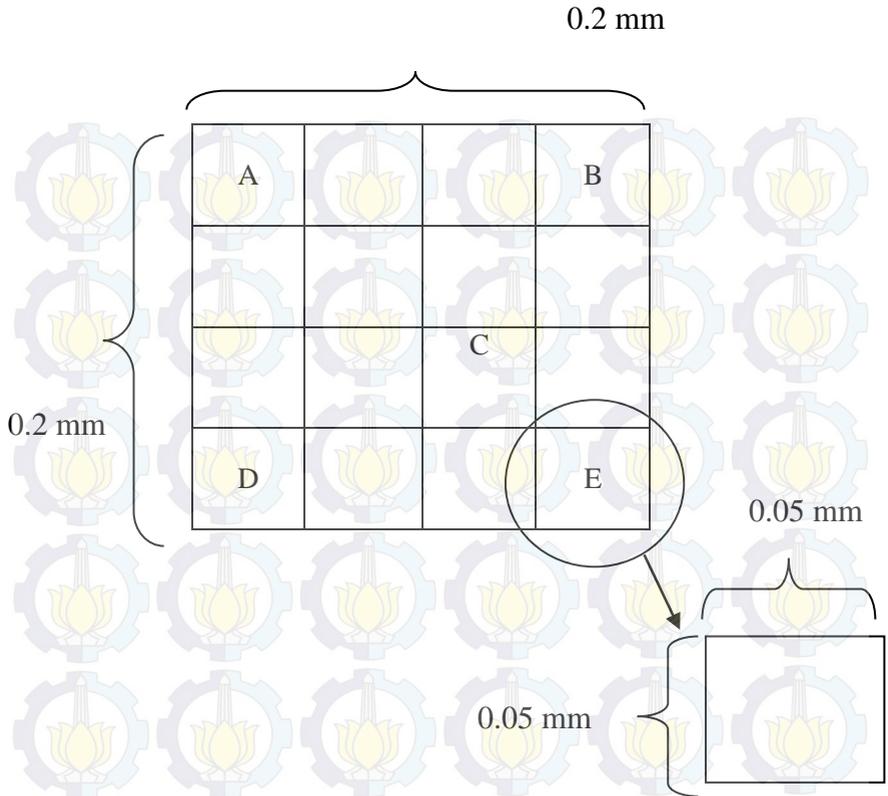
## A.2 Perhitungan Jumlah sel

Menghitung jumlah sel dengan menggunakan Haemocytometer pada saat proses fermentasi anaerobic untuk mengetahui pertumbuhan mikroorganisme

Diambil sampel secukupnya dengan menggunakan pipet tetes dan diletakkan pada tepi kaca tutup, maka dengan sendirinya tetesan tersebut akan mengalir ke bawah kaca tutup dan mengisi ruang hitung. Jika jumlah sel dalam 1 persegi kecil lebih dari 10 sel dan dalam 1 persegi besar lebih dari 100 sel, maka sampel perlu diencerkan kembali. Letakkan hemasitometer pada meja objek mikroskop. Tetapkan 5 titik dari 16 kotak terkecil pada hemasitometer seperti Gambar A.2. Luasan hemasitometer terdiri dari kotak 5x5, dimana setiap 1 kotak besar terdapat satu kotak kecil terdapat luasan kotak 4x4.



**Gambar A.1** Luasankotak pada hemasitometer



**Gambar A.2** Penentuan titik hitung kotak kecil pada hemasitometer

Jumlah sel pada 5 titik dicatat dan diulangi hingga 3 kali. Hasil perhitungan jumlah sel setiap titiknya di rata – rata. Kemudian jumlah sel/mL dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah sel/mL} = \frac{(\text{Jumlah sel rata-rata})}{0,002 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times \text{faktor pengenceran}$$

Data :

Faktor pengenceran : 10 kali

Sisi kotak kecil = 0.05 mm

Tebal Hemasitometer = 0.1 mm

Contoh perhitungan :

$$\text{Jumlah sel/mL} = \frac{1.1}{0,002 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times 10 = 44000000 \text{ sel/ml}$$

Tabel. A.4 Data Analisa counting chamber pada variable Rumen 5%

Hari ke-	A			B			C			D			E		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	1	1	2	2
9	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1
12	2	3	2	3	3	1	3	1	3	2	3	3	2	3	3
15	3	5	4	4	5	5	5	4	3	5	3	3	3	3	4
18	5	4	5	4	4	5	5	6	5	5	5	3	4	5	5
21	6	3	3	4	3	4	3	4	5	3	4	4	4	5	3

Tabel. A.5 Data Analisa counting chamber pada variable Rumen 10%

Hari ke-	A			B			C			D			E		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
7	1	1	2	2	1	1	0	1	1	2	0	1	1	2	1
9	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1
12	2	2	1	2	3	2	3	3	1	3	3	3	3	3	2
15	2	3	7	4	2	4	3	5	2	6	5	3	7	5	3
18	4	5	3	4	5	3	3	6	5	7	4	2	6	4	4
21	3	3	2	3	6	5	7	4	3	3	4	5	2	5	5

Tabel. A.6 Data Analisa counting chamber pada variable Rumen  
15%

Hari ke-	A			B			C			D			E		
1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
7	3	2	3	3	3	1	3	2	3	3	3	2	1	1	2
9	3	3	4	4	4	2	3	3	2	3	3	3	3	2	3
12	4	3	3	5	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4	3
15	6	5	5	7	6	8	6	6	7	7	4	7	7	6	6
18	7	6	7	7	8	6	7	7	8	8	7	6	8	6	7
21	6	5	6	5	5	7	5	5	5	6	6	5	4	6	6

### A.3 Perhitungan VS, TS

Cawan penguap dipanaskan selama 2 jam pada suhu 130°C, kemudian dinginkan didalam desikator, setelah dingin cawan kosong ditimbang. sebanyak 10 ml sampel dimasukkan ke dalam cawan yang telah ditimbang sebelumnya kemudian ditimbang kembali. cawan berisi sampel dimasukkan ke dalam oven kemudian dipanaskan selama 4 jam pada suhu 130°C untuk menghilangkan kadar airnya. setelah cawan didinginkan, kemudian ditimbang kembali sampai beratnya tetap.

$$\text{Total Solid} = a \times (1000/v)$$

Contoh perhitungan

$$\text{Total Solid} = 0.4458 \times (1000/10)$$

$$\text{Total solid} = 44.58 \text{ mg/l}$$

Cawan berisi sampel yang telah ditimbang TS-nya kemudian dipanaskan kembali di dalam *muffle furnace* pada suhu 700°C selama 3 jam. Setelah itu cawan penguap didinginkan hingga mencapai suhu kamar dan ditimbang kembali beratnya.

$$\text{Ash [g/l]} = a \times (1000/v)$$

a = perbedaan berat dari cawan penguap setelah dipanaskan pada suhu 700°C dengan berat cawan kosong.

v = volume sampel.

$$VS \text{ [g/l]} = TS \text{ [g/l]} - \text{Ash [g/l]}$$

Contoh perhitungan

$$\text{Ash [g/l]} = 0.332 \times (1000/10)$$

$$\text{Ash [g/l]} = 33.2 \text{ g/l}$$

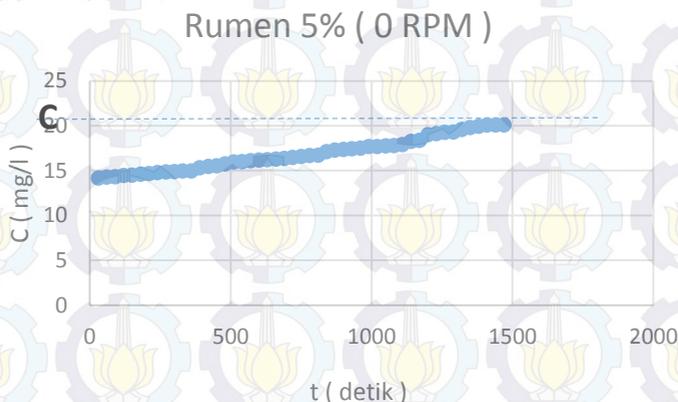
$$VS \text{ [g/l]} = TS \text{ [g/l]} - \text{Ash [g/l]}$$

$$VS \text{ [g/l]} = 44.58 \text{ [g/l]} - 33.2 \text{ [g/l]}$$

$$VS \text{ [g/l]} = 11.38 \text{ g/l}$$

#### A.4 Menghitung $k_L a$ $\text{CH}_4$ pada Proses Fermentasi Anaerobic

Dari hasil percobaan didapatkan konsentrasi larutan dan konsentrasi jenuh larutan. Kemudian di plot antara konsentrasi larutan ( C ) dengan waktu .



**Gambar A.1.** Grafik Konsentrasi ( C ) vs t (detik ) pada variable rumen 5% volume tanpa pengaduk

Dari persamaan rumus koefisien perpindahan massa dapat diturunkan sebagai berikut :

$$V \frac{dC_{O_2}}{dt} = k_L a V (C^*_{O_2} - C_{O_2})$$

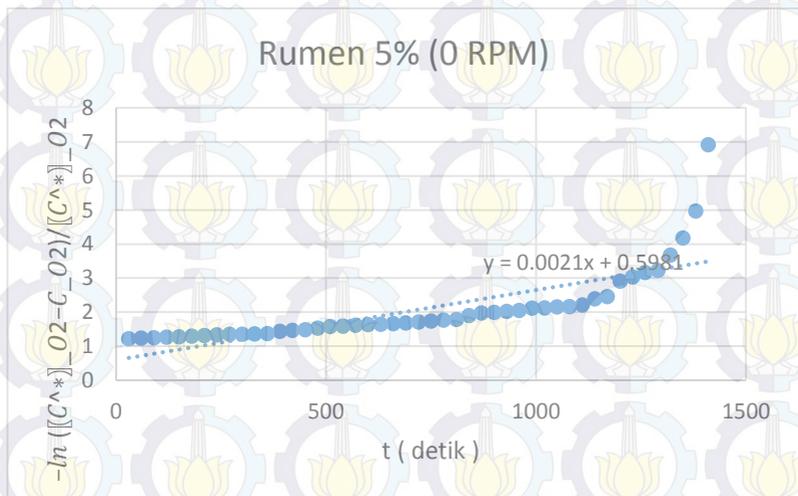
$$\int \frac{dC_{O_2}}{C^*_{O_2} - C_{O_2}} = \int k_L a dt$$

$$-\ln \frac{C^*_{O_2} - C_{O_2}}{C^*_{O_2}} = k_L a t \dots (1)$$

Dari persamaan 1 dibuat plot dengan sumbu x =  $-\ln \frac{C^*_{O_2} - C_{O_2}}{C^*_{O_2}}$ ,

dan sumbu y = t ( detik )

Sehingga didapatkan slope =  $k_L a$



Gambar A.2. Grafik  $-\ln (C^*_{O_2}-C_{O_2})/C^*_{O_2}$  vs t ( detik ) pada variable rumen 5% volume tanpa pengaduk

Dari grafik didapatkan slope =  $k_L a_{O_2}$

Untuk mendapatkan  $k_L a_{CH_4}$

$$\frac{k_L a_{O_2}}{k_L a_{CH_4}} = \left( \frac{D_{O_2-w}}{D_{CH_4-w}} \right)^{0.5}$$

Diketahui :  $D_{O_2-w} = 2.5 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$  ..... ( Perry, 3-259 )

$D_{CH_4-w} = 1.99 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$  ..... ( Springer,method:DIA )

Didapatkan hasil :

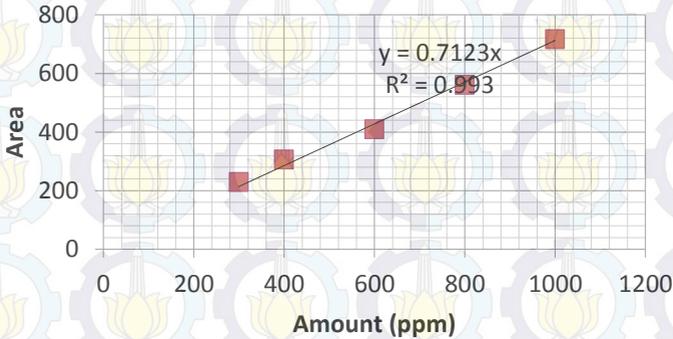
Volume rumen	$\mu$ (Cst)	kLa ( h <sup>-1</sup> )		
		0	10	30
5%	7.5625	5.406	5.556	5.181
10%	7.69375	4.205	5.481	5.706
15%	7.9375	5.481	5.631	6.607

## A.5 Perhitungan Analisa GC Gas Metana

### 1. Memplot kurva standart CH<sub>4</sub>

Amount(ppm_	area
300	228.94
400	305.81
600	409.21
800	561.55
1000	716.89

## Kurva Standar Metana



Misal :

Menghitung metana variabel rumen 5%

Untuk hari ke -5 didapatkan :  $\text{Area}(y) = 42.65733$

Dari grafik didapatkan persamaan kurva standart :  $y = 0.7123x$

Sehingga untuk menghitung konsentrasi metana (ppm) :

$$Y = 0.7123x$$

$$42.65733 = 0.7123x$$

$$x = 42.65733 : 0.7123$$

$$x = 49.06925 \text{ ppm}$$

jadi, didapatkan kandungan metana sebesar 49.06925 ppm.

# APPENDIKS

## A.1 Perhitungan Analisa COD

- I. Pembuatan larutan pereaksi
  - a. Pembuatan Standar primer  $K_2Cr_2O_7$  0.05 N  
Larutkan 0.6129 gram  $K_2Cr_2O_7$  anhidrous dalam labu ukur hingga volumenya 250 ml.
  - b. Larutan Standar Ferro Aluminium 0.05 N  
Larutkan 9.8035 gram FAS dalam 10 ml  $H_2SO_4$  pekat, kemudian tambahkan aquadest hingga volumenya 500 ml.
  - c. Larutan Katalis  
Tambahkan 5.0551 gram  $Ag_2SO_4$  ke dalam 500 ml  $H_2SO_4$  pekat, atau 1.375 gram  $Ag_2SO_4$  ke dalam 0.25 kg  $H_2SO_4$  pekat. Biarkan 1-2 hari untuk melarutkan  $Ag_2SO_4$
- II. Prosedur Analisis COD
  - a. Pipet 10 ml sampel ( dengan pengenceran 50x)
  - b. Tambahkan  $Hg_2SO_4$  sebesar 0.5 gram
  - c. Tambahkan 15 ml Larutan katalis dan larutan standar primer  $K_2Cr_2O_7$  5 ml.
  - d. Masukkan batu didih, kemudian panaskan hingga 2 jam
  - e. Dinginkan terlebih dahulu, lalu tambahkan 2-4 tetes indicator feroin
  - f. Titrasi larutan sample dengan larutan standar FAS sampai terjadi perubahan warna dari biru kekuningan menjadi cokelat
  - g. Perhitungan

$$COD \text{ (mg / L. O}_2\text{)} = \frac{(A - B) \times N \text{ FAS} \times 8000}{V \text{ sampel}}$$

Tabel. A.1 Data Analisa COD pada variable Rumen 5%

Hari ke	a(ml FAS blanko)	b(ml FAS sample)	N(N FAS)	ml sample	COD	COD (mg/l)
0	9	3.7	0.1	10	424	21200
7	9	5.5	0.1	10	280	14000
15	9	7.2	0.1	10	144	7200
21	9	8	0.1	10	80	4000

Tabel. A.2 Data Analisa COD pada variable Rumen 10%

Hari ke	a(ml FAS blanko)	b(ml FAS sample)	N(N FAS)	ml sample	COD	COD (mg/l)
0	9	3.5	0.1	10	440	22000
7	9	5.2	0.1	10	304	15200
15	9	7.8	0.1	10	96	4800
21	9	8.3	0.1	10	56	2800

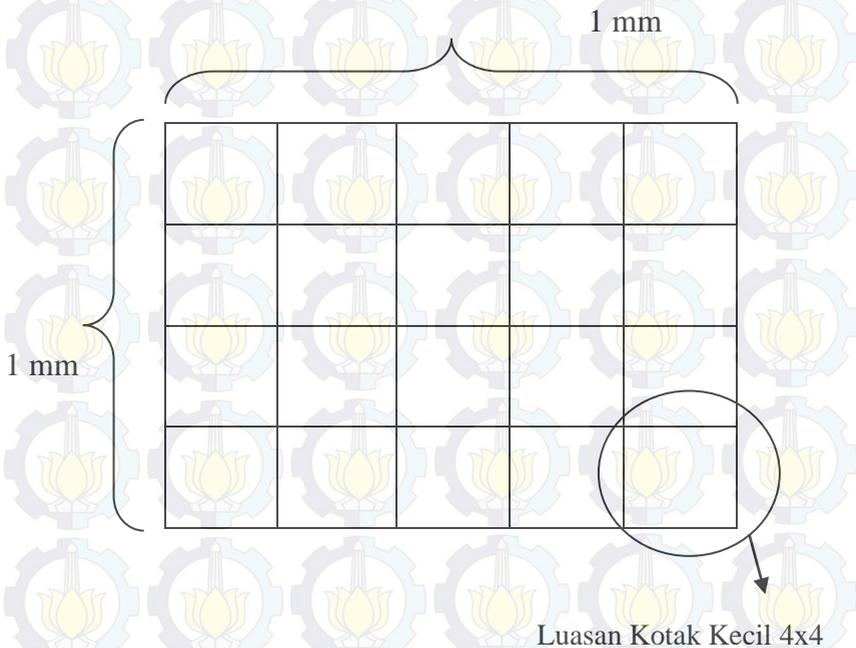
Tabel. A.3 Data Analisa COD pada variable Rumen 15%

Hari ke	a(ml FAS blanko)	b(ml FAS sample)	N(N FAS)	ml sample	COD	COD (mg/l)
0	9	3.5	0.1	10	440	22000
7	9	5.1	0.1	10	312	15600
15	9	8.1	0.1	10	72	3600
21	9	8.5	0.1	10	40	2000

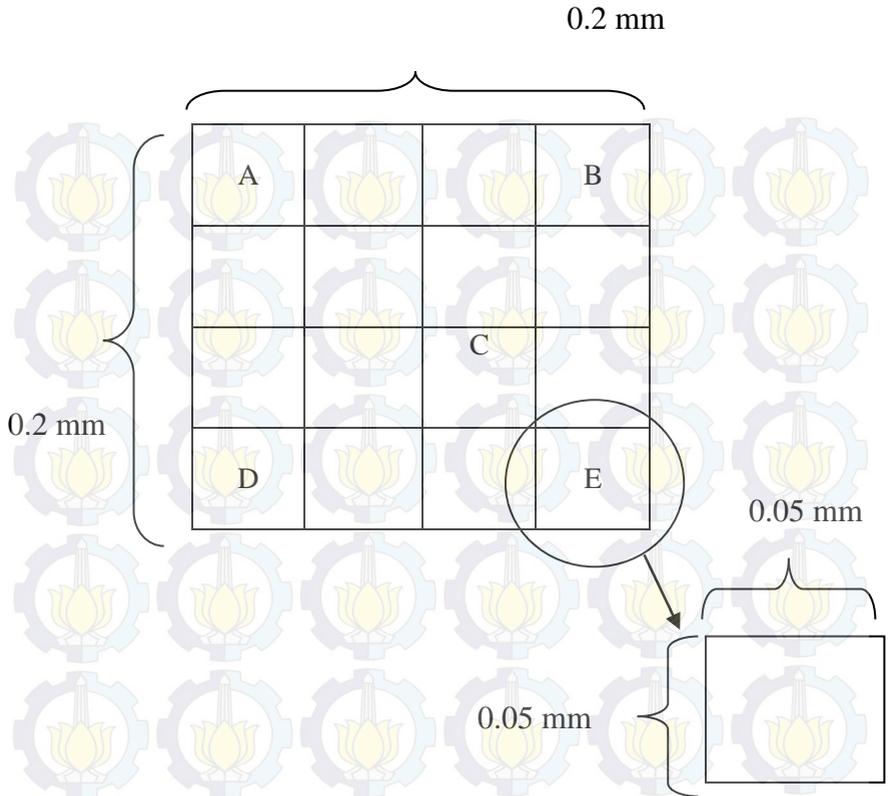
## A.2 Perhitungan Jumlah sel

Menghitung jumlah sel dengan menggunakan Haemocytometer pada saat proses fermentasi anaerobic untuk mengetahui pertumbuhan mikroorganisme

Diambil sampel secukupnya dengan menggunakan pipet tetes dan diletakkan pada tepi kaca tutup, maka dengan sendirinya tetesan tersebut akan mengalir ke bawah kaca tutup dan mengisi ruang hitung. Jika jumlah sel dalam 1 persegi kecil lebih dari 10 sel dan dalam 1 persegi besar lebih dari 100 sel, maka sampel perlu diencerkan kembali. Letakkan hemasitometer pada meja objek mikroskop. Tetapkan 5 titik dari 16 kotak terkecil pada hemasitometer seperti Gambar A.2. Luasan hemasitometer terdiri dari kotak 5x5, dimana setiap 1 kotak besar terdapat satu kotak kecil terdapat luasan kotak 4x4.



**Gambar A.1** Luasankotak pada hemasitometer



**Gambar A.2** Penentuan titik hitung kotak kecil pada hemasitometer

Jumlah sel pada 5 titik dicatat dan diulangi hingga 3 kali. Hasil perhitungan jumlah sel setiap titiknya di rata – rata. Kemudian jumlah sel/mL dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah sel/mL} = \frac{(\text{Jumlah sel rata-rata})}{0,002 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times \text{faktor pengenceran}$$

Data :

Faktor pengenceran : 10 kali

Sisi kotak kecil = 0.05 mm

Tebal Hemasitometer = 0.1 mm

Contoh perhitungan :

$$\text{Jumlah sel/mL} = \frac{1.1}{0,002 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times 10 = 44000000 \text{ sel/ ml}$$

Tabel. A.4 Data Analisa counting chamber pada variable Rumen 5%

Hari ke-	A			B			C			D			E		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	1	1	2	2
9	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1
12	2	3	2	3	3	1	3	1	3	2	3	3	2	3	3
15	3	5	4	4	5	5	5	4	3	5	3	3	3	3	4
18	5	4	5	4	4	5	5	6	5	5	5	3	4	5	5
21	6	3	3	4	3	4	3	4	5	3	4	4	4	5	3

Tabel. A.5 Data Analisa counting chamber pada variable Rumen 10%

Hari ke-	A			B			C			D			E		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
7	1	1	2	2	1	1	0	1	1	2	0	1	1	2	1
9	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1
12	2	2	1	2	3	2	3	3	1	3	3	3	3	3	2
15	2	3	7	4	2	4	3	5	2	6	5	3	7	5	3
18	4	5	3	4	5	3	3	6	5	7	4	2	6	4	4
21	3	3	2	3	6	5	7	4	3	3	4	5	2	5	5

Tabel. A.6 Data Analisa counting chamber pada variable Rumen  
15%

Hari ke-	A			B			C			D			E		
1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
7	3	2	3	3	3	1	3	2	3	3	3	2	1	1	2
9	3	3	4	4	4	2	3	3	2	3	3	3	3	2	3
12	4	3	3	5	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4	3
15	6	5	5	7	6	8	6	6	7	7	4	7	7	6	6
18	7	6	7	7	8	6	7	7	8	8	7	6	8	6	7
21	6	5	6	5	5	7	5	5	5	6	6	5	4	6	6

### A.3 Perhitungan VS, TS

Cawan penguap dipanaskan selama 2 jam pada suhu 130°C, kemudian dinginkan didalam desikator, setelah dingin cawan kosong ditimbang. sebanyak 10 ml sampel dimasukkan ke dalam cawan yang telah ditimbang sebelumnya kemudian ditimbang kembali. cawan berisi sampel dimasukkan ke dalam oven kemudian dipanaskan selama 4 jam pada suhu 130°C untuk menghilangkan kadar airnya. setelah cawan didinginkan, kemudian ditimbang kembali sampai beratnya tetap.

$$\text{Total Solid} = a \times (1000/v)$$

Contoh perhitungan

$$\text{Total Solid} = 0.4458 \times (1000/10)$$

$$\text{Total solid} = 44.58 \text{ mg/l}$$

Cawan berisi sampel yang telah ditimbang TS-nya kemudian dipanaskan kembali di dalam *muffle furnace* pada suhu 700°C selama 3 jam. Setelah itu cawan penguap didinginkan hingga mencapai suhu kamar dan ditimbang kembali beratnya.

$$\text{Ash [g/l]} = a \times (1000/v)$$

a = perbedaan berat dari cawan penguap setelah dipanaskan pada suhu 700°C dengan berat cawan kosong.

v = volume sampel.

$$VS \text{ [g/l]} = TS \text{ [g/l]} - \text{Ash [g/l]}$$

Contoh perhitungan

$$\text{Ash [g/l]} = 0.332 \times (1000/10)$$

$$\text{Ash [g/l]} = 33.2 \text{ g/l}$$

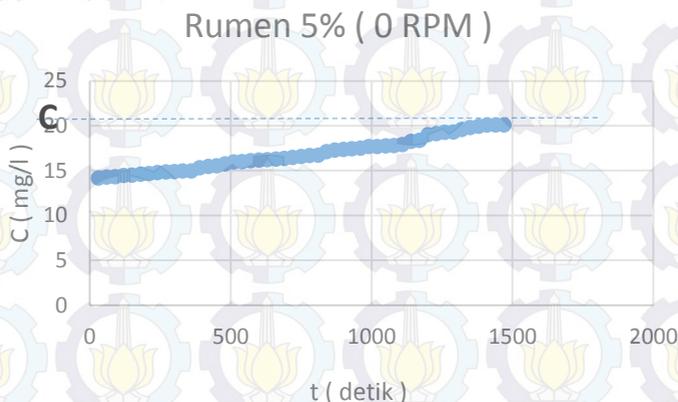
$$VS \text{ [g/l]} = TS \text{ [g/l]} - \text{Ash [g/l]}$$

$$VS \text{ [g/l]} = 44.58 \text{ [g/l]} - 33.2 \text{ [g/l]}$$

$$VS \text{ [g/l]} = 11.38 \text{ g/l}$$

#### A.4 Menghitung $k_L a$ $\text{CH}_4$ pada Proses Fermentasi Anaerobic

Dari hasil percobaan didapatkan konsentrasi larutan dan konsentrasi jenuh larutan. Kemudian di plot antara konsentrasi larutan ( C ) dengan waktu .



**Gambar A.1.** Grafik Konsentrasi ( C ) vs t (detik ) pada variable rumen 5% volume tanpa pengaduk

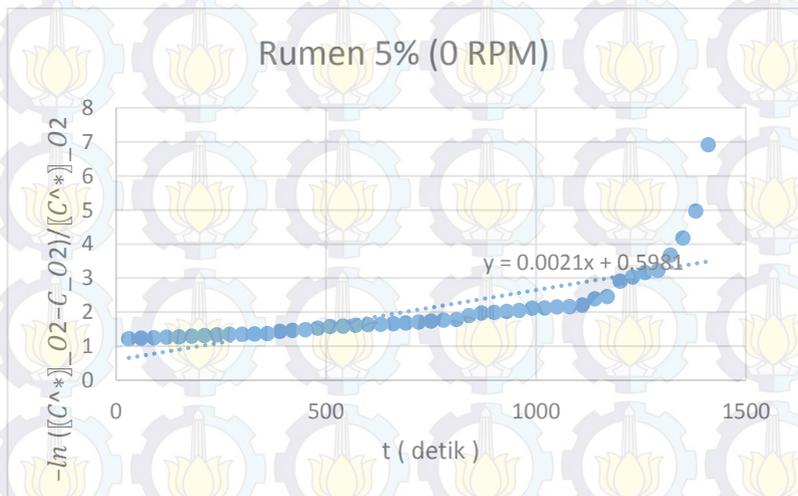
Dari persamaan rumus koefisien perpindahan massa dapat diturunkan sebagai berikut :

$$V \frac{dC_{O_2}}{dt} = k_L a V (C^*_{O_2} - C_{O_2})$$

$$\int \frac{dC_{O_2}}{C^*_{O_2} - C_{O_2}} = \int k_L a dt$$

$$-\ln \frac{C^*_{O_2} - C_{O_2}}{C^*_{O_2}} = k_L a t \dots (1)$$

Dari persamaan 1 dibuat plot dengan sumbu x =  $-\ln \frac{C^*_{O_2} - C_{O_2}}{C^*_{O_2}}$ ,  
 dan sumbu y = t ( detik )  
 Sehingga didapatkan slope =  $k_L a$



Gambar A.2. Grafik  $-\ln (C^*_{O_2}-C_{O_2})/C^*_{O_2}$  vs t ( detik ) pada variable rumen 5% volume tanpa pengaduk

Dari grafik didapatkan slope =  $k_L a_{O_2}$

Untuk mendapatkan  $k_L a_{CH_4}$

$$\frac{k_L a_{O_2}}{k_L a_{CH_4}} = \left( \frac{D_{O_2-w}}{D_{CH_4-w}} \right)^{0.5}$$

Diketahui :  $D_{O_2-w} = 2.5 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$  ..... ( Perry, 3-259 )

$D_{CH_4-w} = 1.99 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$  ..... ( Springer,method:DIA )

Didapatkan hasil :

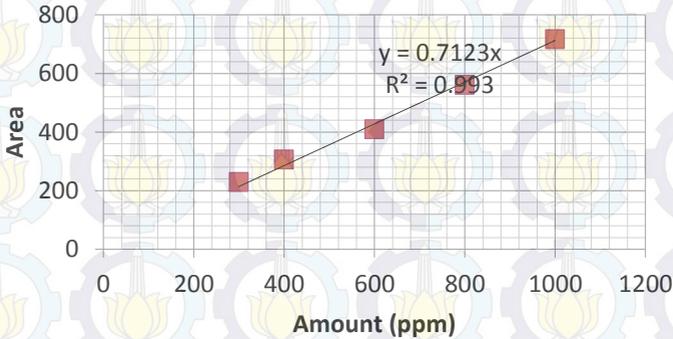
Volume rumen	$\mu$ (Cst)	kLa ( h <sup>-1</sup> )		
		0	10	30
5%	7.5625	5.406	5.556	5.181
10%	7.69375	4.205	5.481	5.706
15%	7.9375	5.481	5.631	6.607

## A.5 Perhitungan Analisa GC Gas Metana

1. Memplot kurva standart CH<sub>4</sub>

Amount(ppm_	area
300	228.94
400	305.81
600	409.21
800	561.55
1000	716.89

## Kurva Standar Metana



Misal :

Menghitung metana variabel rumen 5%

Untuk hari ke -5 didapatkan :  $\text{Area}(y) = 42.65733$

Dari grafik didapatkan persamaan kurva standart :  $y = 0.7123x$

Sehingga untuk menghitung konsentrasi metana (ppm) :

$$Y = 0.7123x$$

$$42.65733 = 0.7123x$$

$$x = 42.65733 : 0.7123$$

$$x = 49.06925 \text{ ppm}$$

jadi, didapatkan kandungan metana sebesar 49.06925 ppm.



**SKRIPSI – TK141581**

**MASS TRANSFER COEFFICIENT PROCESS OF  
RICE STRAW BY ANAEROBIC  
MICROORGANISMS RUMEN INOCULATION**

**Oleh :**

**Veny Ulil Amrinah**

**NRP. 2311100017**

**Farah Amirotus Salma**

**NRP. 2311100084**

**Dosen Pembimbing :**

**Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng**

**NIP. 196110211986031001**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**

## LEMBAR PENGESAHAN

### KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA PADA PROSES ANAEROBIK JERAMI PADI DENGAN INOKULASI MIKROORGANISME RUMEN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

**Veny Ulil Amrinah**

**2311 100 017**

**Farah Amirotus Salma**

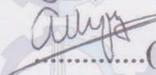
**2311 100 084**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng

.....(Pembimbing I)

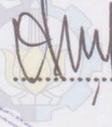
2. Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng

.....(Penguji I)

3. Setiyo Gunawan, S.T., Ph.D

.....(Penguji II)

4. Dr. Lailatul Qadariyah, ST, MT

.....(Penguji III)

Surabaya, Juli 2015



# KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA PADA PROSES ANAEROBIK JERAMI PADI DENGAN INOKULASI MIKROORGANISME RUMEN

Nama /NRP :  
1.Veny Ulil Amrinah : NRP.2311 100 017  
2.Farah Amirotus S : NRP.2311 100 084  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng

## ABSTRAK

Sumber daya minyak dan gas alam dunia yang berasal dari energi fosil semakin berkurang. Sehingga pengembangan penelitian sumber energi alternatif semakin sering dilakukan, salah satunya adalah produksi metana secara anaerobik. Metana menghasilkan rasio energi output/input yang cukup besar yaitu 28 Mj/Mj. Akan tetapi produksi biogas dari biomassa yang mengandung selulosa, lignoselulosa dan hemiselulosa masih banyak mengalami kendala karena sulitnya tiga polymer tersebut dipecah oleh bakteri penghasil metana.

Tahap pertama dalam penelitian adalah persiapan jerami padi dan cairan rumen kemudian tahap kedua melakukan pre treatment dengan komposisi 17% air, 37% cairan rumen, 46% jermai padi . Tahap selanjutnya yaitu melakukan Fermentasi anaerobik selama 21 hari dengan suhu 30°C pada volume kerja reactor sebesar 3.7 l. Sedangkan untuk Tahap penelitian koefisien perpindahan massa pertama yaitu mempersiapkan hasil fermentasi anaerobic kemudian diukur O<sub>2</sub> terlarut dengan DO meter kemudian dihitung koefisien perpindahan massa CH<sub>4</sub>.

Hasil menunjukkan bahwa kandungan CH<sub>4</sub> pada variable 5% volume rumen terbesar sebesar 29215.2 ppm, kandungan CH<sub>4</sub> pada variable 10% volume rumen terbesar sebesar 26555 ppm, dan kandungan CH<sub>4</sub> pada variable 10% volume rumen terbesar sebesar 56484 ppm. Untuk penelitian koefisien perpindahan massa ( $k_{La}$ ) pada variable volume rumen 5% untuk variable tanpa pengadukan didapatkan ( $k_{La}$ ) sebesar 5.406 h<sup>-1</sup>,

untuk pengadukan 10 RPM didapatkan ( $k_{L,a}$ ) sebesar  $5.556 \text{ h}^{-1}$ , dan untuk pengadukan 10 RPM didapatkan ( $k_{L,a}$ ) sebesar  $5.18 \text{ h}^{-1}$ . Untuk variable volume rumen 10% untuk variable tanpa pengadukan didapatkan ( $k_{L,a}$ ) sebesar  $4.205 \text{ h}^{-1}$ , untuk pengadukan 10 RPM didapatkan ( $k_{L,a}$ ) sebesar  $5.481 \text{ h}^{-1}$ , dan untuk pengadukan 10 RPM didapatkan ( $k_{L,a}$ ) sebesar  $5.71 \text{ h}^{-1}$ . Dan untuk variable volume rumen 15% untuk variable tanpa pengadukan didapatkan ( $k_{L,a}$ ) sebesar  $5.481 \text{ h}^{-1}$ , untuk pengadukan 10 RPM didapatkan ( $k_{L,a}$ ) sebesar  $5.631 \text{ h}^{-1}$ , dan untuk pengadukan 10 RPM didapatkan ( $k_{L,a}$ ) sebesar  $6.16 \text{ h}^{-1}$ .

**Kata Kunci :** Fermentasi anaerobik, Jerami Padi, *Lignoselulose biomass*, Koefisien perpindahan massa, Mikroba rumen

# **MASS TRANSFER COEFFICIENT PROCESS OF RICE STRAW BY ANAEROBIC MICROORGANISMS RUMEN INOCULATION**

Nama /NRP :  
1.Veny Ulil Amrinah : NRP.2311 100 017  
2.Farah Amirotus S : NRP.2311 100 084  
DosenPembimbing : Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng

## **ABSTRACT**

Resources of oil and natural gas that comes from the world of diminishing fossil energy. So the research development of alternative energy sources are increasingly being carried out, one of which is the production of methane by anaerobic. Methane yields an energy output / input that is large enough that 28 Mj / Mj. However, the production of biogas from biomass containing cellulose, lignocellulose and hemicellulose are still many experienced problems because of the difficulty of the three polymers are broken down by bacteria producing methane. In this study, conducted a study to determine the mass transfer coefficient in the process of anaerobic microorganisms in rumen fluid inoculation against methane production process from raw materials containing lignocellulose biomass rice straw .

The first step in the research is the preparation of rice straw and rumen fluid then the second stage did pre-treatment with a composition of 17% water, 37% rumen fluid, 46% rice straw. The next stage is anaerobic fermentation for 21 days at a temperature of 30°C in a reactor working volume of 3.7 L. As for the research the first mass transfer coefficient is to prepare the result of dissolved O<sub>2</sub> of the anaerobic fermentation measured with a DO meter then calculated the mass transfer coefficient of CH<sub>4</sub>. Results showed that the content of CH<sub>4</sub> in the variable 5% rumen volume amounted to 29215.2 ppm, the content of CH<sub>4</sub> in the rumen volume variable 10% of 26 555 ppm, and the content

of CH<sub>4</sub> in the rumen volume variable 10% of 56484 ppm. To study the mass transfer coefficient ( $K_{La}$ ) in the variable volume of 5% for variable rumen without stirring obtained ( $K_{La}$ ) of 5.406 h<sup>-1</sup>, for stirring 10 RPM obtained ( $K_{La}$ ) of 5.556 h<sup>-1</sup>, and for stirring 10 RPM obtained ( $K_{La}$ ) at 5.18 h<sup>-1</sup>. And variable rumen 10% for variable without stirring obtained ( $K_{La}$ ) of 4.205 h<sup>-1</sup>, for stirring 10 RPM obtained ( $K_{La}$ ) of 5.481 h<sup>-1</sup>, and for stirring 10 RPM obtained ( $K_{La}$ ) of 5.71 h<sup>-1</sup>. And for variable volume 15% for variable rumen without stirring obtained ( $K_{La}$ ) of 5.481 h<sup>-1</sup>, for stirring 10 RPM obtained ( $K_{La}$ ) of 5.631 h<sup>-1</sup>, and for stirring 10 RPM obtained ( $K_{La}$ ) of 6.16 h<sup>-1</sup>.

**Key Words :** *Anaerobik digestion, Lignoselulose biomass, Mass Transfer Coefficient, Rice Straw, Rumen Fluid Microorganism*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul :

### **“KOEFSIEN PERPINDAHAN MASSA PADA PROSES ANAEROBIK JERAMI PADI DENGAN INOKULASI MIKROORGANISME RUMEN “**

Setelah hampir dua tahun menjalani Tahap Sarjana Program Studi (S1) Jurusan Teknik Kimia, akhirnya kami sampai ditahap akhir yaitu penyusunan skripsi ini dengan harapan kami semakin dapat mengupgrade diri melalui penelitian yang kami lakukan serta untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan dari Tahap Sarjana Program Studi (S1) Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama melakukan penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini, kami mendapat doa, bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng, Dosen Pembimbing sekaligus Kepala Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember atas bimbingan, kritik dan saran yang telah diberikan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng. selaku Kepala Laboratorium Teknologi Biokimia Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
4. Seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis
5. Orang tua serta saudara-saudara kami, atas doa, bimbingan, perhatian, dan kasih sayang yang selalu tercurah tanpa batas selama ini.

6. Keluarga besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), teman-teman di Laboratorium Biokimia Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, khususnya teman-teman LJ Ganjil 2013 atas semua dukungan, semangat, serta kerjasamanya.

Kami menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini, yang membutuhkan saran dan kritik yang konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini.

Surabaya , Juni 2015

Penyusun

# DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	
Abstrak (Indonesia).....	i
Abstrak (English).....	iii
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel.....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I. 1 Latar Belakang.....	1
I. 2 Perumusan Masalah.....	5
I. 3 Tujuan Penelitian.....	6
I. 4 Manfaat Penelitian.....	6
I. 5 Batasan Masalah.....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
II. 1 Jerami Padi.....	9
II.2 Proses Pretreatment Bahan Berlignoselulos.....	11
II. 3 Rumen Fluid.....	13
II. 4 Metana dan Sumber Penghasil Metana.....	16
II. 5. Mekanisme Produksi Metana Secara Anaerob di dalam Rumen.....	23
II. 6. Faktor Umum Yang Berpengaruh dalam Proses Anaerobik.....	26
II. 7. Koefisien Perpindahan Massa.....	31
II. 8. Metode Untuk Meningkatkan Produksi Biogas.....	33
II.9. Hasil Penelitian Sebelumnya.....	34
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
III.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	39
III.2. Bahan dan Alat Penelitian.....	39
III.3 Variabel Penelitian dan Kondisi Operasi.....	39
III.4 Tahapan Metodologi Penelitian.....	41

III.5 Fermentasi Anaerobik.....	41
III.6 Tahap Koefisien Perpindahan Massa.....	44
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
IV.1 Kurva Pertumbuhan Bakteri Terhadap Produksi Biogas.....	51
IV.2. COD (Chemical Oxygen Demand.....	56
IV.3 Pengaruh VFAs terhadap Kandungan Biogas .....	58
IV.4 Kandungan Metana.....	61
IV.5 Pengaruh VS & TS.....	68
IV.6 Koefisien Perpindahan Massa Pada Proses Fermentasi Anaerobik.....	70
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
V.1 Kesimpulan.....	73
V.2 Saran.....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>DAFTAR NOTASI</b>	
<b>APPENDIKS</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Komposisi Jerami Padi dan Nutrisi Jerami Padi.....	9
Tabel II.2	Perbandingan Rate Degradasi Selulosa Pada Berbagai Kondisi.....	12
Tabel II.3	Komposisi Mikroorganisme Cairan Rumen.....	14
Tabel II.4	Bakteri Utama Rumen.....	15
Tabel II.5	Komposisi Ra-rata Properti dari CH <sub>4</sub> Pada Sumber Biogas Yang Berbeda.....	17
Tabel II.6	Karakteristik Metanogenesis.....	21
Tabel II.7	Substrat untuk Bakteri Methanogenesis di dalam Rumen.....	22
Tabel II.8	Pendekatan Kasar Tipe Sludge dan SVI .....	35
Tabel III.1	Variabe; Waktu Sampling.....	40
Tabel IV.1	Kla Setiap Viskositas dan Rpm.....	72



## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Struktur Molekul Selulosa .....	10
Gambar II.2. Struktur Molekul Hemiselulosa .....	10
Gambar II.3. Struktur Molekul Lignin (Sjöström 1993; Fengel & Wegener 1989).....	11
Gambar II. 4. Macam-Macam Enzyme Pendeградasi Lignin.....	13
Gambar II.5. Rumen dan Tampak Samping Perut Sapi (Takeneka, 2008) .....	14
Gambar II.6. Estimasi Sumber Metana .....	16
Gambar. II.7. Tahapan Proses Anaerobik Yang Sinergis dan Berkesinambungan (Yadvika dkk., 2004).....	20
Gambar II.8. Mekanisme produksi metana di dalam rumen (Takeneka, 2008).....	23
Gambar II. 9. Struktur Gula (Takeneka, 2008) .....	24
Gambar II.10. Teori lapisan film model perpindahan massa pada gas-liquid interface.....	32
Gambar III.2. Diagram Alir Penelitian Koefisien Perpindahan Massa .....	44
Gambar III.3. . Skema Alat Penelitian untuk fermentasi anaerobik ( <i>Corro dkk., 2013; Yue dkk., 2013</i> )..	45
Gambar III.4. Skema Alat Penelitian untuk Koefisien Perpindahan Massa.....	45
Gambar III.5 Penentuan titik hitung pada hemasitometer .....	46
Gambar IV-1. Kurva Pertumbuhan Bakteri pada variable Rumen 5%.....	54
Gambar IV-2. Kurva Pertumbuhan Bakteri pada variable Rumen 10.....	54
Gambar IV-3. Kurva Pertumbuhan Bakteri pada variable Rumen 15%.....	55
Gambar IV-4. Grafik COD pada variable Rumen 5%.....	57
Gambar IV-5. Grafik COD pada variable Rumen 10%.....	57
Gambar IV-6. Grafik COD pada variable Rumen 15%.....	58

Gambar IV-7. Grafik VFAs pada variable Rumen 5%.....	59
Gambar IV-8. Grafik VFAs pada variable Rumen 10%.....	60
Gambar IV-9. Grafik VFAs pada variable Rumen 15%.....	60
Gambar IV-10. Grafik kandungan Biogas vs waktu fermentasi ( Deublin).....	67
Gambar IV-11. Grafik TS.....	69
Gambar IV-12. Grafik VS.....	69



## DAFTAR NOTASI

NOTASI	KETERANGAN	SATUAN
$C^*$	Konsentrasi jenuh larutan	mg/l
$C$	Konsentrasi larutan	mg/l
$D_{O_2-w}$	Diffusivitas oksigen – water	$cm^2/s$
$D_{CH_4-w}$	Diffusivitas metana – water	$cm^2/s$
$k_L a$	Koefisien Perpindahan Massa	$h^{-1}$
COD	Chemical Oxygen Demand	mg/l
$\mu$	Viskositas	centistoke

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



**Veny Ulil Amrinah**, anak pertama dari dua bersaudara yang lahir di Oktober pada tanggal 07 Oktober 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Tebalon (1999-2005), SMP Negeri 2 Kebomas (2005-2008), dan SMA Negeri 1 Kebomas (2008-2011). Lalu penulis melanjutkan perguruan tinggi di S1 Teknik Kimia FTI-ITS (2011-2015). Penulis pernah aktif di Badan Eksekutif Mahasiswa FTI-ITS (2012-2013) sebagai Staf Sosial dan Masyarakat. Penulis juga pernah kerja praktek di PT. Petrokimia. Untuk menghubungi penulis dapat email ke [veny.ulil@gmail.com](mailto:veny.ulil@gmail.com). Penulis memilih Laboratorium Teknologi Biokimia untuk melakukan penelitian dengan judul:

**“Koefisien Perpindahan Massa Pada Proses Anaerobik Jerami Padi dengan Inokulasi Mikroorganisme Rumen”**

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Farah Amirotus Salma dilahirkan di Jombang, Jawa Timur pada tanggal 26 Mei 1993. Penulis merupakan putri kedua dari empat bersaudara dari pasangan Said Hasan dan Siti Sufiyati. Penulis mulai menempuh pendidikan formal di SDN Ceweng 1, lalu SMPN 2 Jombang, dilanjutkan ke SMAN 2 Jombang. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Program Studi S1

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya. Penulis melakukan risetnya di Laboratorium Teknologi Biokimia di bawah bimbingan Setiyo Gunawan, ST, Ph.D hingga kemudian melakukan penelitian yang berjudul:

**“KOEFSISIEN PERPINDAHAN MASSA PADA PROSES ANAEROBIK JERAMI PADI DENGAN INOKULASI MIKROORGANISME RUMEN”**

Untuk keterangan lebih lanjut mengenai penulis, dapat dilakukan melalui email [farahsalma93@gmail.com](mailto:farahsalma93@gmail.com) atau melalui telepon 0857-3080-4170.

# BAB I PENDAHULUAN

## I.1 . Latar Belakang

Sumber daya minyak dan gas alam dunia yang berasal dari energy fosil semakin berkurang. Maka dibutuhkan sumber energi lain sebagai alternative pengganti. Biomass adalah potensi terbesar sebagai alternative sumber energy terbarukan, dan menjadi pilihan terbaik untuk menjamin energy masa depan yang berkelanjutan (Corro dkk., 2013).

Produksi biofuel sebagai sumber energy terbarukan berhubungan secara khusus pada material biomass yang mengandung lignoselulosa. Lignoselulosa mampu menawarkan sumber potensial untuk menghasilkan novel biofuels generasi kedua (Simson dkk., 2007).

Produksi hydrogen, gas alam, bio-oil, biogas, alcohol, biodiesel dari sumber biomassa terbarukan menjadi topik utama diseluruh dunia dengan prospeknya sebagai pengganti fossil fuel dan kemampuannya untuk mengurangi polusi udara (Corro dkk., 2007).

Produksi metana dari berbagai limbah biologis dengan metode anaerobik sampai saat ini terus dipakai luas diseluruh dunia dengan tujuan ekonomis dan manfaatnya pada lingkungan (Corro dkk., 2013). Fermentasi metana adalah teknologi paling efisien untuk menghasilkan energi dari biomass dalam hitungan ratio energi output/input 28.8 (MJ/MJ) dari semua teknologi yang dipakai dalam menghasilkan energi melalui cara biologis dan thermokimia (Deublein dkk., 2008).

Gas metana adalah bahan bakar yang bisa dihasilkan dari proses anaerobik. Proses anaerobik adalah proses degradasi limbah organik terkendali tanpa oksigen dan melibatkan mikroorganisme anaerobik (Ojolo dkk., 2007) yang menghasilkan metana, karbon dioksida dan menghasilkan pupuk kompos untuk memperbaiki lahan pertanian (Koberle dkk., 1995). Proses ini adalah teknologi yang paling efektif untuk mengurangi limbah organik dan menghasilkan energi (Ueno dkk., 2007).

Limbah biologis yang biasa digunakan untuk menghasilkan metana dengan proses anaerobik adalah kotoran sapi. Hal ini dikarenakan kotoran sapi berisi sejumlah bakteri yang mampu menghasilkan gas metana tetapi memiliki sedikit kandungan selulosa, hemiselulosa, lignin dan bahan organik lain yang esensial untuk pertumbuhan bakteri (Corro dkk., 2013). Kotoran sapi mengandung beberapa mikroorganisme seperti *Clostridium*, *Porphyromonas*, *Bacteriodes*, *Bifidobacterium*, *Ruminococcus*, *Alistipes*, *Lachnospiraceae*, *Prevotella*, *Lacnospira* dll. (Dowd dkk., 2008). Kotoran sapi juga mengandung beberapa bakteri pathogen seperti *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Shigella spp.*, *Klebsiella spp.*, dll. (Alfa dkk., 2014). Biogas yang dihasilkan kotoran sapi mengandung senyawa sulfur seperti H<sub>2</sub>S yang cukup tinggi (Corro dkk., 2013).

Biomass dari limbah pertanian juga bisa digunakan dalam memproduksi metana. Limbah biomass dari bahan pangan (minyak dan karbohidrat sederhana) seperti jagung, tebu, atau non-pangan seperti dedaunan, batang pohon, pulp kopi dan sekam bisa digunakan dalam proses anaerobik, menggunakan mikroorganisme khusus sebagai pre-treatment awal dari limbah untuk menaikkan yield metana dan stabilitas produk akhir. Penggunaan sisa industri pangan dalam bioproses, bisa mengurangi pencemaran lingkungan (Brand dkk., 2000; Pandey

dkk., 2000). Energi yang dihasilkan dari biomass adalah teknologi yang penting untuk keberlanjutan produksi energi terbarukan (Baba dkk., 2013).

Produksi metana menggunakan biomassa memiliki beberapa kendala yang bisa menghambat proses methanogenesis. Hambatan terjadi karena biomassa selulosa terdiri dari tiga buah polymer yang berdekatan : selulosa, hemiselulosa dan lignin (Hendriks dan Zeman, 2009). Derivat lignin dengan grup aldehidnya atau substituent polarnya bersifat sangat beracun pada proses metanogens (Chen dkk., 2008). Karena keberadaan ikatan kuat pada molekul-molekul polymer tersebut membentuk physical barrier dan mencegah terjadinya adsorpsi oleh enzim hidrolisis (Zhu dan Pan, 2010). Dan menurut Fox dan Noike (2004) kecepatan hidrolisis dari selulosa begitu rendah sehingga yield metana yang dihasilkan rendah. Hasil penelitian sebelumnya dengan menggunakan biomassa dari pulp kopi yang dicampur dengan kotoran sapi, kecepatan konversi metana pada substrat campuran pulp kopi dengan kotoran sapi sangat rendah, dalam 1,5 bulan pertama masih dibawah 10 % dan 2 bulan *digestion time* masih sekitar 30 % (Corro dkk., 2013).

Namun adanya kendala dalam proses produksi metana bisa diatasi dengan melakukan pre-treatment awal yang dibutuhkan untuk menghilangkan hambatan fisik dari bahan baku biomassa (Baba dkk., 2011) dan dengan penambahan bakteri, karena proses anaerobik dengan biomassa membutuhkan bakteri dengan konsentrasi tinggi. Bakteri pertama-tama akan mendegradasi komponen komponen beracun (seperti tannin dan fenol), dan baru kemudian menghasilkan metana (Corro dkk., 2013).

Pada penelitian ini, model sebagai biomassa selulosa yang digunakan adalah jerami padi. Jerami padi mengandung

37.71 % selulosa; 21,99 % hemiselulosa; 16.62 % lignin (dewi, 2002). Pada tahun 2010, Departemen Pertanian memperkirakan jumlah jerami yang dihasilkan lahan sawah se Indonesia adalah 84 juta ton jerami. Pemanfaatan jerami ini selain sebagai pakan ternak dan pupuk organik masih bisa diambil gas metana nya untuk sumber energi terbarukan (Trubus, 2010). Namun kenyataannya jerami padi masih sering dibakar oleh para petani karena belum bisa memanfaatkannya sebagai sumber energi terbarukan.

Metode pre-treatment yang dipakai dalam produksi metana dari biomass diantaranya mekanis (*mill, shredder*), kimia (*chemical*), dan thermal (*wet oxidation*) (Fox dan Noike, 2004; Lin dkk., 2009; Tong dkk., 1990; Ueno dkk., 2007; Yen dan Brune, 2007). Pre-treatment tersebut bisa memperbaiki *aksesability* dan *biodegradability* selulosa (Baba dkk., 2013). Selain metode diatas metode pre-treatment dengan cairan rumen juga dipakai dalam penelitian sebelumnya. Dan menghasilkan konversi metana sebesar 73.4% walaupun tanpa pretreatment mekanis, thermal, dan kimia (Baba dkk., 2013).

Cairan rumen adalah limbah dari Rumah Potong Hewan (RPH). Potensi limbah cairan rumen di RPH Pegirian Surabaya adalah 260 ekor sapi (rata-rata yang dipotong tiap hari) x 200 L = 5200 liter/hari atau dalam satu bulan sekitar 7800 ekor sapi atau 1.560.000 liter/per bulan ([www.kanalsatu.com](http://www.kanalsatu.com)), di Jepang limbah cairan rumen yang harus diolah sebanyak 116.000 ton tiap tahun, dan membutuhkan biaya tinggi dalam pengolahannya (Takeneka, 2008). Limbah cairan rumen yang dibiarkan begitu saja adalah salah satu sumber metana. Metana yang berasal dari proses enteric fermentation / hewan ternak, adalah salah satu sumber dari green house gas (GHG) (Takeneka, 2008). Potensi efek gas rumah kaca yang dihasilkan oleh metana 23x lebih kuat dari

efek yang ditimbulkan oleh Karbondioksida. Sehingga cairan rumen sangat baik jika diolah dan dimanfaatkan dalam proses produksi biogas dari bahan berlignoselulosa karena biayanya murah dan jumlahnya melimpah.

Untuk mendapatkan konversi biogas yang maksimal, dalam hal ini dipengaruhi oleh koefisien perpindahan massa. Koefisien perpindahan massa volumetric  $k_{L,a}$ , adalah kecepatan spesifik dari perpindahan massa (gas terabsorpsi per unit waktu, per unit luas kontak per unit beda konsentrasi).  $k_{L,a}$  tergantung pada sifat dari sistem dan dinamika fluida.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Dari uraian latar belakang diatas, maka bisa dirumuskan permasalahan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proses produksi metana menggunakan biomassa cenderung lambat dan menghasilkan *yield* yang rendah, dan membutuhkan sejumlah bakteri dengan konsentrasi tinggi. Oleh karena itu perlu dipelajari metode pre-treatment yang tepat dalam mengatasi kendala tersebut dengan membandingkan kultur *mikroorganisme cairan rumen*
2. Produksi biogas dari bahan berlignoselulosa membutuhkan biaya pretreatment yang lebih tinggi; seperti harga enzyme yang lebih mahal, pemakaian steam dan alkaline, penggunaan air yang cukup banyak dalam proses hidrolisisnya.
3. Limbah cairan rumen yang dibuang begitu saja akan mencemari lingkungan dan menghasilkan gas metana yang berbahaya bagi ozone sebagai efek gas rumah kaca.
4. Koefisien perpindahan massa berpengaruh pada proses fermentasi anaerobik.

### **I.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Memproduksi metana dari jerami padi dengan pre-treatment dan inokulasi *mikroorganisme cairan rumen (novel application of rumen fluid)*
2. Mengetahui pengaruh mikroorganisme cairan rumen pada fermentasi anaerobic
3. Mengetahui pengaruh koefisien transfer massa terhadap kandungan metana yang dihasilkan

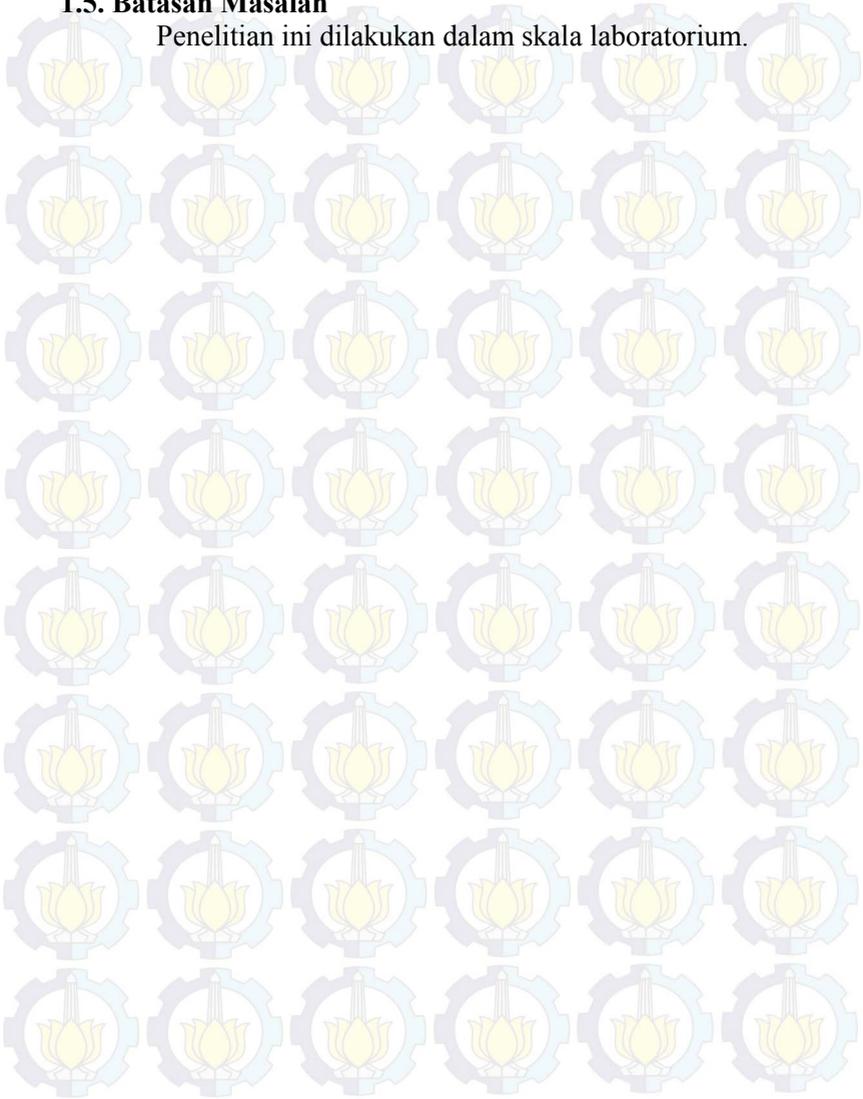
### **I.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang akan didapatkan dalam penelitian ini adalah:

1. Memberikan solusi terhadap permasalahan limbah jerami yang sangat melimpah untuk menopang keberlangsungan pemenuhan kebutuhan energi terbarukan yang semakin meningkat akhir-akhir ini.
2. Memanfaatkan limbah cairan rumen yang biayanya murah dan jumlahnya melimpah sebagai bahan baku produksi biogas daripada menggunakan metode pre-treatment lainnya yang lebih mahal.
3. Mengatasi gas rumah kaca dan memberikan dampak kesehatan yang baik pada lingkungan. Karena limbah cairan rumen yang dibuang begitu saja akan mencemari lingkungan dan menghasilkan gas metana yang berbahaya bagi ozone.
4. Sisa atau residu dari jerami padi yang dimanfaatkan dalam proses anaerobik akan menghasilkan pupuk kompos yang sangat bagus untuk lahan pertanian. Sehingga sangat membantu petani dalam memenuhi kebutuhannya pada pupuk.
5. Menghasilkan gas metana dengan kualitas yang bagus

### 1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium.





\* Halaman ini sengaja dikosongkan \*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1. Jerami Padi

Indonesia adalah salah satu penghasil padi yang cukup besar di dunia, dan limbah jerami padi kering yang dihasilkan mencapai 180 juta ton tiap tahunnya (Sabiham dan Mulyanto, 2005). Potensi jerami sebagai bahan baku energi biomassa masih sangat besar di Indonesia. Karena pemanfaatannya sebagai pakan ternak hanya mencapai 31 - 39 %, sedangkan yang dibakar atau dikembalikan ke tanah sebagai pupuk 36 - 62 %, dan sekitar 7 - 16 % digunakan untuk keperluan industri (Abdullah, 2008).

Jerami padi terdiri dari tiga bagian yaitu helai daun, pelepah daun dan batang yang dapat dibagi lagi atas ruas dan buku yang proporsinya sangat kecil. Proporsi helai daun adalah 15-27%, pelepah daun 23-30% dan ruas adalah, 15-37% (Sitorus, 2002). Jerami padi memiliki komposisi seperti pada Tabel II.1. dibawah ini:

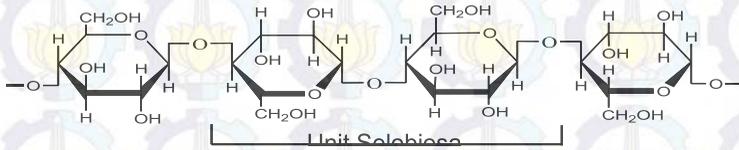
Tabel II.1. Komposisi Jerami Padi dan Nutrisi Jerami Padi

Keterangan	Komposisi
Selulosa (%)	37.71
Hemiselzulosa (%)	21.99
Lignoselulosa (%)	16.62
EM (Kkal/kg)	3.799,00
Bahan kering (%)	92,00
Protein Kasar (%)	5,31
Lemak Kasar (%)	3,32
Serat Kasar (%)	32,14
Abu (%)	22,25

Sumber: Dewi (2002) , Sarwono dan Arianto ( 2003).

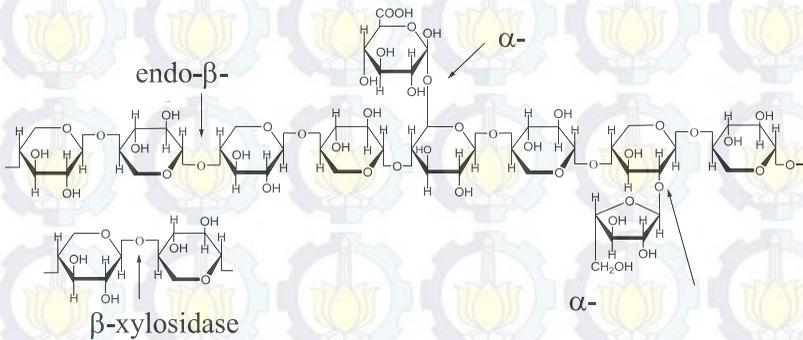
Selulosa ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> adalah bagian utama tanaman, berupa homopolisakarida dengan derajat polimerisasi n. Derajat

polimerisasi untuk selulosa tumbuhan adalah 305 sampai 15.300 (Widjaja, 2009) ditunjukkan oleh gambar II.1.



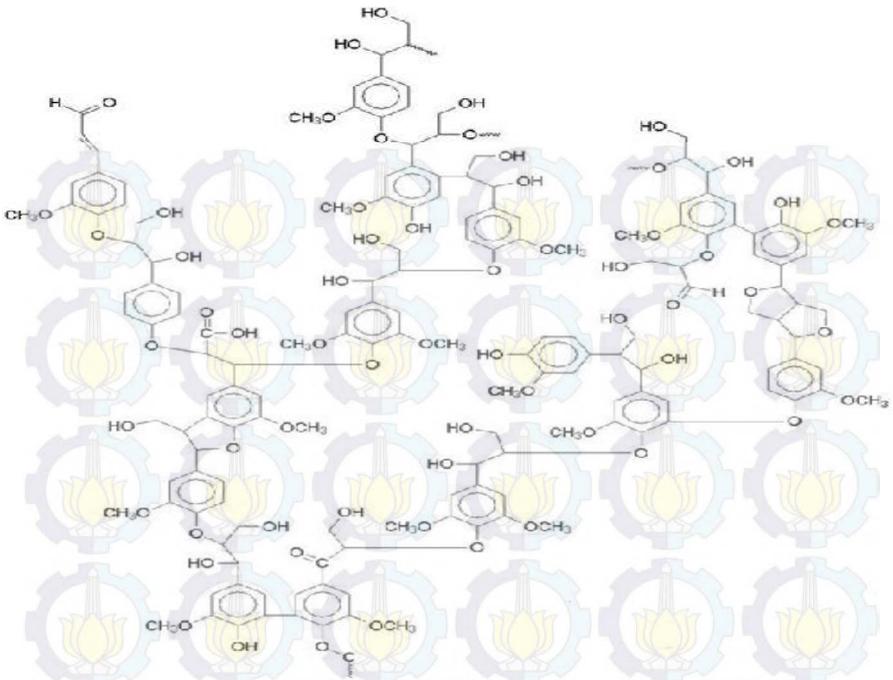
**Gambar II.1.** Struktur Molekul Selulosa

Hemiselulosa adalah polimer dengan rantai yang relative lebih pendek dan bercabang, terdiri dari monomer-monomer seperti xylosa, arabinosa, glukosa, manosa, dan galaktosa dengan struktur amorf (Bailey dan Ollis, 1986). Hemiselulosa berfungsi sebagai pendukung dinding sel dan sebagai perekat. Struktur polimer hemiselulosa ditunjukkan oleh Gambar II.2.



**Gambar II.2.** Struktur Molekul Hemiselulosa

Lignoselulosa adalah polimer yang amorf dengan berat molekul yang besar dan struktur yang kompleks. Lignoselulosa lebih tahan terhadap serangan jamur, bakteri dan proses hidrolisis oleh asam (Widjaja, 2009). Gambar II.3. menunjukkan struktur polimer lignin.



**Gambar II.3.** Struktur Molekul Lignin (Sjöström 1993; Fengel & Wegener 1989).

Selulosa adalah penguat batang tanaman, lignoselulosa berfungsi melindungi selulosa dari kerusakan kimiawi dan biologis, sedangkan hemiselulosa adalah pengikat keduanya (Lee, 1992).

## II.2. Proses Pretreatment Bahan Berlignoselulosa

Proses pretreatment diperlukan untuk mempermudah degradasi bahan berlignoselulosa, hemiselulosa dan selulosa sehingga mudah dihidrolisis dan difermentasikan secara anaerobik untuk menghasilkan metana.

Proses degradasi bahan berlignoselulosa dari limbah pertanian dipengaruhi oleh komposisi substrat limbah, kristalinitas selulosa dan ukuran partikel. Proses pretreatment yang dilakukan adalah secara mekanis dan kimiawi. Contoh

pretreatment mekanis yang dipakai adalah milling dan attrition. Pretreatment kimiawi bertujuan untuk menghancurkan ikatan lignin sehingga komponen hemiselulosa dan selulosa lebih mudah didegradasi. Beberapa pretreatment kimiawi bahan diantaranya adalah pretreatment asam dan pre treatment basa dan pretreatment ammonia (Mosier dkk., 2005). Pretreatment thermal dilakukan dengan wet oxidation (Fox dan Noike, 2004).

Selain menggunakan pretreatment kimiawi dan mekanis, pretreatment biologis juga dipakai dalam proses degradasi lignoselulosa. Salah satu pretreatment biologis yang dipakai adalah penggunaan rumen fluid atau cairan rumen (Baba dkk. 2013).

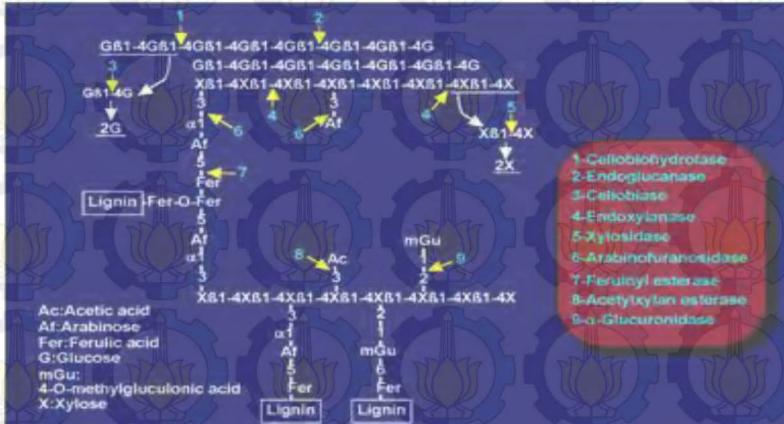
Contoh perbandingan kecepatan degradasi selulosa setelah produksi metana pada kondisi dan pretreatment yang berbeda ditunjukkan dalam Tabel dibawah ini.

Tabel II.2. Perbandingan Rate Degradasi Selulosa Pada Berbagai Kondisi

Pretreatment	Kondisi	Biomassa	Degradation Rate (%)	Peneliti
Tanpa Pretreatment	-	Pulp, paper sludge	25	Lin dkk. (2011)
Kimiawi (alkali)	37°C, 6 Jam	Pulp, paper sludge	65,35	Lin dkk. (2009)
Thermal (Wet Oxidation)	190°C, 1 jam	Newspaper	88	Fox dan Noike (2004)
Biologis (Rumen Fluid)	37°C, 6 Jam	Lmbah Kertas	87.9	Baba dkk. (2013)
	37°C, 24 Jam	Limbah Kertas	85.8	

Sumber : Baba dkk. (2013)

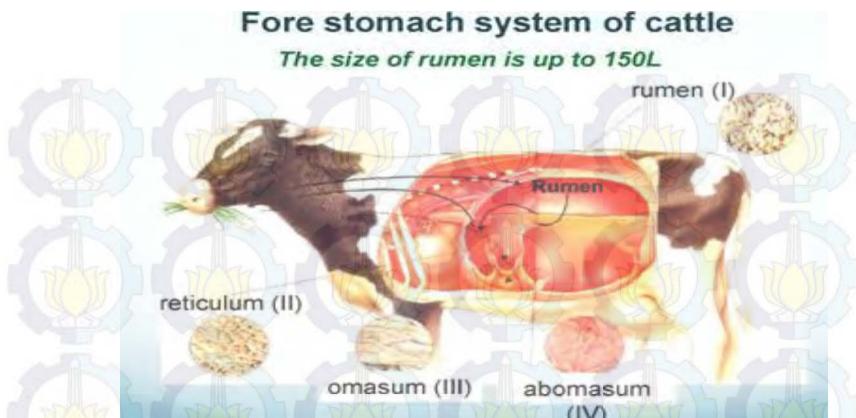
Dari gambar II.4 dibawah ini adalah jenis enzyme yang berperan dalam degradasi lignoselulosa (Takeneka, 2008) adalah : Cellobiohydrolase, Endoglucanase, Cellobiase, Endoxylanase, Xylosidase, Arabinofuranosidase, Feruloyl esterase, Acetylxyylan esterase,  $\alpha$ -Glucuronidase.



**Gambar II. 4.** Macam-Macam Enzyme Pendegradasi Lignin

### II.3. Rumen Fluid

Rumen adalah bagian pertama (first stomach) didalam lambung sapi yang harus dilewati sebelum makanan dicerna lebih lanjut oleh sistem pencernaan lainnya. Ukuran rumen adalah 150 – 200 L seperti tampak pada gambar II.5.



**Gambar II.5.** Rumen dan Tampak Samping Perut Sapi (Takeneka, 2008)

Rumen fluid dari sapi mengandung dua quadrillion bakteri dan 1 miliar protozoa. Banyak diantara bakteri tersebut adalah mikroorganisme selulolitik anaerobik, dan mampu menghidrolisis selulosa dengan efisiensi yang tinggi, dengan waktu tinggal solid/ *solid residence time* (SRT) yang sangat pendek (sekitar 23-30 jam) (Chynoweth dkk. 2003; Hungate, 1966 ; Song dkk. 2005). Komposisi lengkap mikroroganisme cairan rumen berdasarkan populasinya dijelaskan dalam tabel II.3. dibawah ini:

Tabel II.3. Komposisi Mikroorganisme Cairan Rumen

Nama Mikroorganisme	Jumlah
Protozoa	$10^6$ /g
Arcaea	$10^8$ /g
Bakteri	$10^{10}$ /g
Fungi	$10^4$ /g

(Sumber : Takeneka, 2008)

Fungsi cairan rumen menurut Takeneka (2008) adalah mendegradasi fiber, menghasilkan protein, menghasilkan VFAs, memecah nutrisi, dan menghasilkan Metana.

Jenis bakteri utama rumen (Takeneka, 2008) menurut dengan fungsinya bisa dilihat dalam tabel II.4. dibawah ini :

Tabel II.4. Bakteri Utama Rumen ((Takeneka, 2008)

Fungsi	Jenis Bakteri	Morfologi Bakteri
Pendegradasi selulosa	- Fibrobacter succinogens	Gram -, batang/ rods
	- Ruminococcus Albus	Gram +, coccus/cocci
	- Ruminococcus flavefaciens	Gram +, coccus/cocci
Pemakan hemiselulosa dan pectin	- prevotella ruminocola	Gram -, batang/rods
	-Butyrivibrio fibrisolvens	Gram +, batang/rods
Starch Fermenter (pemfermentasi pati)	- Ruminobacter amylophilus	Gram -, rods
	-Streptococcus bovis @	Gram +, rods
Pemakan asam organic	-Megasphaera elsdenii	Gram -, cocci
	-selenomonas ruminantium	Gram -, rods

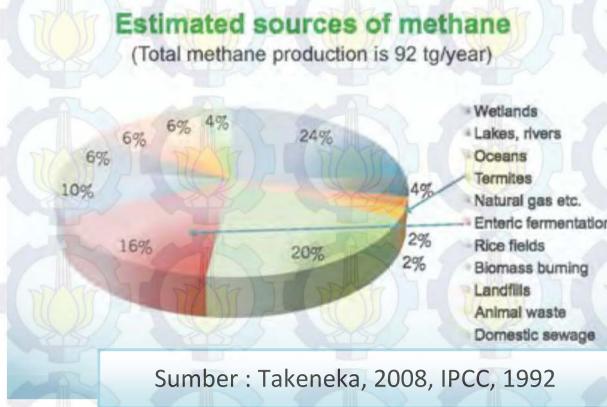
### II.3.a. Efisiensi Global Mikroba Rumen (per Tahun)

Setiap tahun jumlah hewan ternak diseluruh dunia meningkat 15 miliar ekor, dengan jumlah total sebanyak 3 billion sapi. Yang membutuhkan 10000 MT material berselulosa untuk di konsumsi (Takeneka, 2008). Jadi sumber mikroba rumen sangat melimpah untuk dimanfaatkan. Potensi limbah cairan rumen di RPH Pegirian Surabaya adalah 260 ekor sapi (rata-rata yang dipotong tiap hari) x 200 L = 5200 liter/hari atau dalam satu bulan sekitar

7800 ekor sapi atau 1.560.000 liter/per bulan (www.kanalsatu.com).

#### II.4. Metana Sebagai Sumber Energi dan Penghasil Gas Rumah Kaca

Metana adalah senyawa hidrokarbon gugus alkana dengan satu atom C tunggal (C1) dan empat ikatan tunggal atom hidrogen (Fessenden, 1986). Metana memiliki titik didih  $-161.5^{\circ}\text{C}$  dan titik beku  $-183^{\circ}\text{C}$  (Solomons, 1976). Metana bisa didapatkan secara alami dari alam, dan juga bisa didapatkan dari proses anaerobic bahan organik. Metana yang berasal dari proses enteric fermentation / hewan ternak, adalah salah satu sumber dari green house gas (GHG) (Takeneka, 2008). Potensi efek gas rumah kaca yang dihasilkan oleh metana 23x lebih kuat dari efek yang ditimbulkan oleh Karbondioksida. Total estimasi sumber metana seluruh dunia adalah 92 ton gross per tahun, dengan komposisi 24 % dari lahan gambut, 20 % dari Natural Gas, 16 % dari enteric fermentation data dari IPCC tahun 1992. Sebagian besar proses enteric fermentantion adalah proses yang terjadi pada rumen (Takeneka, 2008). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.6.



**Gambar II.6.** Estimasi Sumber Metana

Berdasarkan sumbernya, komposisi property CH<sub>4</sub> bisa dilihat dari tabel II.5. dengan komposisi CH<sub>4</sub> terbesar adalah pada biogas sebanyak 90 – 70 % CH<sub>4</sub> dan gas alam sebanyak 90 %. Salah satu kekurangan dari CH<sub>4</sub> yang bersumber dari biogas adalah kandungan H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> yang masih tinggi dari pada CH<sub>4</sub> yang bersumber dari gas alam.

Tabel II.5. Komposisi Rata-Rata Properti dari CH<sub>4</sub> Pada Sumber Biogas Yang Berbeda

Gas	Biogas	Landfill gas	Natural Gas
CH <sub>4</sub>	90-70	65-65	90
Hydrocarbon (%)	0	0	9
H <sub>2</sub> (%)	0	0-3	0
CO <sub>2</sub> (%)	30-40	15-50	1
N <sub>2</sub> (%)	0.2	5-40	0.3
O <sub>2</sub> (%)	0	0-5	0
H <sub>2</sub> S (ppm)	0-4000	0-100	3
NH <sub>3</sub>	100	5	0
Heating value, (kWh/Nm <sup>3</sup> )	6.5	4.4	11.0

(Sumber: Grande,2007 )

#### II.4.a. Mekanisme Proses Anaerobik Dalam Menghasilkan Metana

Metana adalah salah satu gas yang dihasilkan dalam proses pembuatan biogas. Biogas dihasilkan dari proses anaerobik senyawa organik kompleks, seperti lipids polisakarida, protein, lemak, asam nukleat dan lain sebagainya (Yadvika dkk., 2004). Prosesnya bisa dibagi dalam tiga tahap sebagai berikut :

1. Tahap Hidrolisis ; Proses hidrolisis memecah molekul organik kompleks menjadi unit yang lebih kecil sebagai

contoh gula / monosakarida, asam amino, alkohol, fatty acid, dan senyawa organic lain yang lebih sederhana. Proses ini dibantu oleh bakteri strict anaerob seperti *Bactericides*, *Clostridia* dan facultative anaerob seperti *Streptococcus* etc.(Yadvika et. al., 2004). Reaksi yang terjadi dalam proses ini sebagai berikut :



2. Tahap Acidogenesis ; pada proses ini bakteri acidogenic (bakteri penghasil asam) memecah molekul gula menjadi volatil fatty acid misalnya laktat, butirir, propionate, dan asetat, juga terbentuk karbondioksida, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S dan H<sub>2</sub> (Grande) . Jenis reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



(asam laktat)



(asam butirir)



(asam propionate)

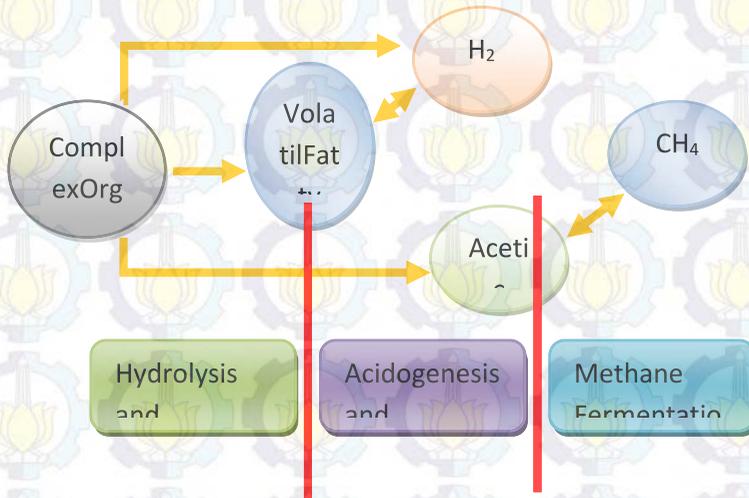


(asam asetat)

Pada proses ini, bakteri acetanogen mengubah molekul organik menjadi CO<sub>2</sub> dan utamanya adalah asam asetat. Bakteri ini adalah *Syntrophobacter Wolinii* (mendegradasi propionate menjadi asam asetat , CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>) dan *syntrophobacter wolinii* mengoksidasi asam lemak bersama dengan bakteri pengguna H<sub>2</sub>. Propionat, asam lemak berantai panjang, alkohol, beberapa senyawa aromatik seperti benzoat dan asam – asam organic lainnya diproduksi oleh bakteri acetogen bersama – sama dengan bakteri metanogen. Degradasi propionat menurut reaksi:



reaksinya sangat lambat dibandingkan proses acidogenesis.



**Gambar. II.7.** Tahapan Proses Anaerobik Yang Sinergis dan Berkesinambungan (Yadvika dkk., 2004).

Sedangkan karakteristik proses metanogenesis yang terjadi dalam proses anaerobik bisa dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel II.6. Karakterisasi Metanogenesis (Pada Biakan Murni)

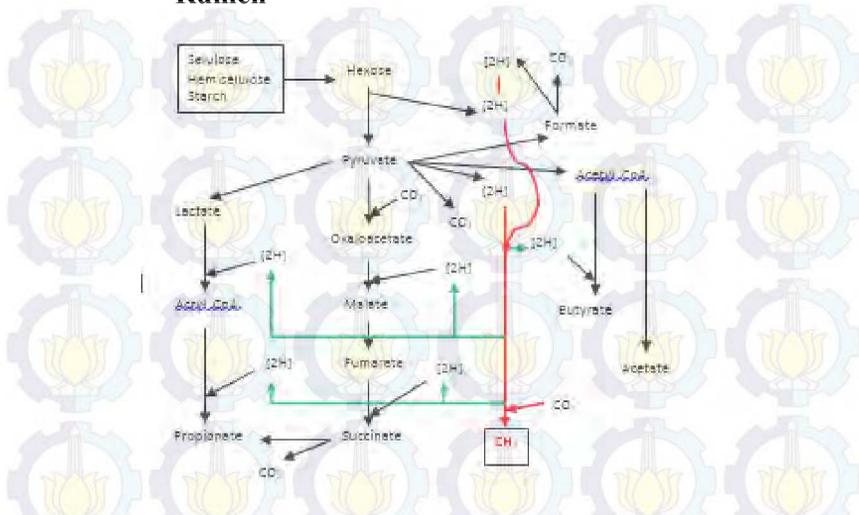
Spesies	Morfologi	Substrat	Komposisi dinding Sel
Methanobacter -formicium -bryantii -thermoautotrophicum	Batang panjang sampai dengan filamen	H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Pseudomurein
Methanobrevibacter -Ruminantium -Smithii -Arboriphilus	Bentuk jarum, bulat dan batang pendek	H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub>	Pseudomurein
Methanococcus -Vanniellii -Voltae -Thermolithotrophicus -Mozei	Motile tak beraturan bulat kecil, pseudosarcina	H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub> ,	Polypeptide subunits
Methanomicrobium -Mobile	Batang pendek motile	H <sub>2</sub> , Formate	Polypeptide subunits
Methanobacterium -Cariaci -Marisnigri	Bulat kecil tak beraturan motile	H <sub>2</sub> , Formate H <sub>2</sub> , Formate	Polypeptide subunits
Methanospirillum -Hungatei	Batang melengkung beraturan	H <sub>2</sub> , Formate	Polypeptide

	motile		
Methanosacina -Barkeri	Bulat tak beraturan sebagai kumpulan sel-sel tunggal, pseudoparenchyma	H <sub>2</sub> , Formate Methanol Methylamine s	Hetropoly - saccharide
Methanotrinx -Soehgenii	Batang semampai dengan filamen panjang	Acetate	No muramic acid

Sumber : Yuniarta dan Reapradana, 2007

Bakteri methanogen sangat cocok pada pH netral sampai basa dan sangat sensitive terhadap perubahan. Produksi metana berlangsung dalam digester dan beroperasi dalam kondisi mesopilik (293-313 °K / 25 – 40 °C) dan kondisi thermophilik (323-333 °K / 50 -65 °C) (Gavala, dkk. 2003). Digester mesofilik berfungsi secara optimal pada suhu antara 30-35°C .Gas yang dihasilkan dalam proses dibiodigester selain metana adalah CO<sub>2</sub>, Senyawa Sulfur (H<sub>2</sub>S), sikloalkana, air, dan kontaminan kecil (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, Chlorine, Flourine, dll)(Wellinger, 2009). Komposisi akhir dari biogas tergantung dari variable dan sangat bergantung pada material organic yang dipakai dalam proses (Petterson dan Wellinger, 2009).

## II.5. Mekanisme Produksi Metana Secara Anaerob di dalam Rumen

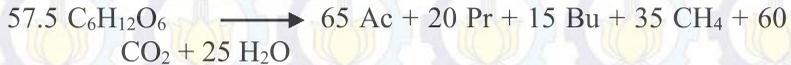


**Gambar II.8.** Mekanisme produksi metana di dalam rumen (Takeneka, 2008)

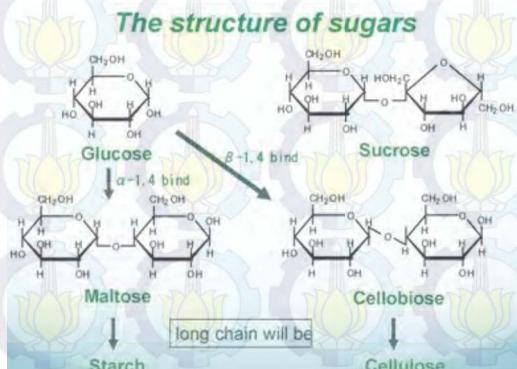
Seperti pada gambar II.8. selulosa, hemiselulosa dan starch (bubur pati) akan terhidrolisi menjadi glukosa yang akan dipecah menjadi hexosa, kemudian hexosa akan menghasilkan asam piruvat dan dua atom hydrogen. Pyruvate akan terurai lagi menjadi asam laktat, asam format, oxaloasetat, Acetyl CoA, karbondioksida, dan dua atom hydrogen. Kemudian karbondioksida yang terbentuk akan bereaksi dengan oxaloasetat menjadi asam malat, sedangkan hydrogen yang terbentuk akan bereaksi dengan asam laktat menjadi Acryl CoA, Acryl CoA akan bereaksi lagi dengan sisa hydrogen menjadi asam propionate. Hydrogen juga akan bereaksi dengan asam malate membentuk asam Fumarate. Asam Fumarate juga bereaksi dengan hydrogen membentuk succinate, sedangkan succinate akan terurai menjadi CO<sub>2</sub> dan asam propionate.

Asam format yang terbentuk dari pyruvate akan terurai menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2$ . Asetyl CoA akan bereaksi dengan hydrogen membentuk butirat, dan sisanya akan terurai menjadi asam asetat.  $\text{CH}_4$  akan terbentuk sebagai produk akhir dari reaksi antara Hidrogen dengan  $\text{CO}_2$ .

Secara ringkas mekanisme reaksi diatas bisa disingkat dalam reaksi empiris sebagai berikut :



(Wolin. M. J., 1979, Adv. Microbial Ecol 3:49-77)



**Gambar II. 9.** Struktur Gula (Takeneka, 2008)

Dari gambar II.9. bisa dilihat bahwa Glukosa adalah pembentuk selulosa dan starch. Selulosa, hemiselulosa dan starch yang sudah terhidrolisis menjadi gula akan bereaksi menjadi produk akhir Asam Asetat, Propionat, Asam Butirat, Metana,  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Menurut tahapan reaksinya, mekanisme reaksi diatas juga bisa dipecah menjadi 4 mekanisme reaksi, reaksi utama adalah reaksi antara Hidrogen dan  $\text{CO}_2$  menjadi Metana dan Air, kemudian 15-20 % metana dihasilkan oleh propionate, sebagian kecil dihasilkan dari butirat dan asam asetat, seperti reaksi berikut :

- A.  $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$  (Reaksi Utama)
- B.  $4\text{HCO}_2\text{H} \longrightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  (15-20 %)
- C.  $4\text{CH}_3\text{OH} \longrightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  (minor pathway)
- D.  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H} \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$  (minor pathway)

Bahan atau substrat yang terlibat dalam proses methanogenesis berdasarkan bakteri atau mikroorganismenya ada di Tabel II.7 dibawah ini :

Tabel II.7. Substrat untuk Bakteri Methanogens di dalam Rumen

Jenis Bakteri	Substrat
Methanobacteriaceae: -Methanobacterium formicicum -Methanobrevibacter ruminantium -Methanobrevibacter smithii -Methanobrevibacter curvatus -Methanosphaera stadtmanae	$\text{H}_2/\text{CO}_2$ , Formate
Methanomicrobiaceae : -Methanomicrobium mobile	$\text{H}_2/\text{CO}_2$ , Formate (tidak menggunakan asetat)
Methanosarcinaceae : -Methanosarcina mazei -Methanosarcina barkeri	Asetat, Methanol, Metylamines $\rightarrow \text{CH}_4$

## **II.6. Faktor Umum Yang Berpengaruh dalam Proses Anaerobik**

Proses anaerobik yang menggunakan mikroorganisme sangat bergantung pada pH, Temperature, HRT, C/N Ratio, dan lain-lain, yang secara relative adalah proses lambat (Yadvika dkk., 2004). Berikut ini adalah hal-hal yang berpengaruh dalam proses anaerobik :

### **1. Temperature**

Temperature memiliki pengaruh yang besar pada proses anaerob, proses anaerob bisa terjadi dalam tiga temperature yang berbeda, yaitu : psyrophilic ( $<30^{\circ}\text{C}$ ), mesophilic ( $30-40^{\circ}\text{C}$ ), dan thermophilic ( $50-60^{\circ}\text{C}$ ). Bakteri anaerob berada dalam kondisi sangat aktif pada kondisi mesophilic dan thermophilic (Mital, 1996; Umetsu dkk. 1992; Maurya dkk. 1994; Takizawa dkk. 1994 ; Desaki dan Madamwar, 1994; Zannaki dkk. 1996)

### **2. pH**

pH adalah faktor penting dalam proses anaerob. pH optimum didalam digester adalah 6.8 – 7.2. Jumlah  $\text{CO}_2$  dan volatile fatty acid akan berpengaruh pada pH digester. Untuk fermentasi anerobik, konsentrasi VFA, asam asetat sebaiknya dibawah 2000 mg/l (Yadvika dkk., 2004). Pada pH diatas 5 efisiensi produksi  $\text{CH}_4$  lebih dari 75 % (Jain dan Mattiason, 1998).

### **3. Pretreatment**

Pretreatment diperlukan untuk menaikkan yield metana dalam proses anaerobik. Pretreatment bertujuan memecah struktur kompleks senyawa organik menjadi molekul yang lebih sederhana, sehingga bisa diurai oleh mikroorganisme. Pretreatment bisa dilakukan dengan berbagai metode seperti berikut ini (Yadvika dkk., 2004): Pretreatment dengan alkali atau asam, predigestion subtract yang masih baru, thermokimia ultrasonic, ensilasi feed.

### **4. Ukuran Partikel**

Ukuran substrat tidak boleh terlalu besar karena akan menyulitkan mikroba untuk menguraikannya. Ukuran partikel yang lebih kecil

bisa memaksimalkan luas permukaan untuk proses adsorbs substrat yang akan menghasilkan naiknya aktivitas mikroba sehingga bisa menaikkan produksi gas (Yadvika dkk., 2004).

#### 5. C/N Ratio

Perbandingan Karbon dengan Nitrogen. Secara umum sudah diketahui bahwa selama proses anaerobik, mikroorganism menggunakan 25-30 kali lebih banyak karbon dari pada Nitrogen. Sehingga C/N Ratio yang dibutuhkan dalam proses anaerobik adalah 20-30/ 1 C terhadap N (Bardiya dan Gaur, 1997; Malik dkk. 1987). Sedangkan untuk perbandingan COD : N : P untuk proses anaerob adalah 1000 : 12,5 : 2,5 (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

#### 6. Pelarutan Substrat

Karakteristik substrat akan diubah dengan pelarutan sederhana. Air takan mengurangi konsentrasi beberapa unsure seperti Nitrogen dan Sulfur yang akan mengganggu proses anaerobik. Konsentrasi solid yang tinggi akan menghambat dekomposisi anaerobik (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

#### 7. Pengadukan

Pengadukan dibutuhkan untuk memberikan kontak yang lebih besar antara mikroorganism dan substrat sehingga akan memperbaiki proses digestion (Yadvika dkk., 2004). Pengadukan juga berguna untuk memperbaiki produksi gas. (Mohanrao, 1974 ; Aubart dan Farinet, 1983 ; Van dan Faber, 1993).

#### 8. Seeding of Biogas Plant

Seringkali diperlukan untuk menambahkan seeding bacteria kedalam digester untuk start-up proses anaerobik. Penambahan inokulum bertujuan menaikkan yield gas dan metana pada biogas (Yadvika dkk., 2004). Penambahan inokulum memungkinkan untuk menaikkan yield gas dan untuk mengurangi waktu tinggal (Dangaggo dkk., 1996; Kanwar dan Guleri, 1995 ; Kotsyurbenko dkk. 1993).

## 9. Organic Loading Rate (OLR)

Produksi gas sangat bergantung pada kecepatan loading. Yield metana meningkat dengan berkurangnya kecepatan loading (Vartak dkk., 1997). Menaikkan loading akan mengurangi ukuran digester tetapi juga mengurangi prosentase dari volatile solid yang diubah menjadi gas (Yuniarta dan Reapradana, 2007). Loading adalah massa substrat (pound) per cubic foot dari volume digester. Satuannya adalah kilogram influent per cubic meter volume digester per hari (kg/m<sup>3</sup>/hari) atau sama dengan 0.0634 (lb/ft<sup>3</sup>/hari). Loading rate bisa dituliskan dalam rumus :

$$L = \left( \frac{1}{HRT} \right) (C_i)$$

$C_i$  = konsentrasi solid pada influent (gr)

## 10. Hydraulic Retention Time (HRT)

HRT adalah waktu rata-rata yang diperlukan oleh input slurry didalam digester sebelum keluar.  $HRT = V / Q$ , dimana V adalah volume digester dan Q adalah laju alir dari input slurry. HRT bervariasi antara 30-50 hari, untuk negara tropis. Untuk negara yang lebih dingin bisa sampai 100 hari. HRT yang lambat membutuhkan volume digester yang lebih besar dan biaya yang lebih banyak. (Yadvika dkk.,2004).

## 11. Solid Retention Time

Solid Retention Time (SRT) merupakan faktor penting untuk mengontrol konversi dari solid menjadi gas dan berpengaruh pada kestabilan digester. SRT adalah jumlah dari solid yang ada pada digester dibagi dengan jumlah limbah padat setiap harinya.

$$SRT = \frac{(V)(C_d)}{(Q_w)(C_w)}$$

V = volume digester,

$C_d$  = konsentrasi solid

$Q_w$  = volume limbah setiap harinya

$C_w$  = konsentrasi padatan pada limbah.

HRT sama dengan SRT, untuk konvensional *completely mixed* atau *plug flow* digester. Pada SRT yang rendah, tidak cukup waktu yang tersedia untuk pertumbuhan bakteri dan mengganti kehilangan bakteri dalam effluent. Jika rate kehilangan bakteri melebihi pertumbuhan bakteri maka akan terjadi "wash-out". SRT ketika wash-out mulai terjadi disebut *critical SRT* (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

#### 12. Solid Concentration

Jumlah substrat yang bisa difermentasikan dari feed dalam satuan volume of slurry (VS) didefinisikan sebagai konsentrasi solid. Proses fermentasi tidak stabil pada konsentrasi solid 7 % (kotoran hewan) dan pada level 10% menyebabkan fermenter overload (Baserja, 1984). Konsentrasi solid 7-9% adalah yang terbaik (Zennaki dkk., 1996). Konsentrasi solid bisa juga dinyatakan dengan TS (Total Solid). Terdapat tiga range kandungan solid yaitu:

- Sistem Low Solid (LS) Anaerobic Digestion, mengandung kurang dari 10% Total Solid (TS).
- Sistem Medium Solid (MS) Anaerobic Digestion, mengandung 15 hingga 20% Total Solid (TS).
- Sistem High Solid (HS) Anaerobic Digestion, mengandung 22 hingga 40% Total Solid (TS).

Ketika kandungan total solid dinaikkan, maka volume digester menurun, karena jumlah air yang dibutuhkan berkurang (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

#### 12. SVI (Sludge Volume Index)

Volume sludge yang mengendap setelah diendapkan selama 30 menit ( $V_{30}$ ) merupakan dasar untuk perhitungan Sludge Volume Index (SVI).

$$SVI \text{ (ml/g)} = V_{30} / x$$

x = konsentrasi biomassa (g).

Prosedur pengukuran nilai  $V_{30}$  dan penghitungan SVI berbeda-beda. Sehingga nilai yang dicantumkan dalam literatur tidaklah

mudah untuk dibandingkan. Untuk mudahnya, pendekatan kasar yang diberikan pada tabel dibawah ini dapat digunakan (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

Tabel II.7. Pendekatan Kasar Tipe Sludge dan SVI

Tipe Sludge	SVI (ml/g)
Well Settling	< 100
Light	100 – 200
Bulking	> 200

### 13. Rasio makanan terhadap mikroorganisme

Rasio makanan terhadap mikroorganisme adalah hal penting yang mengontrol proses anaerobik. Agar bakteri dapat mengkonsumsi jumlah substrat yang dibutuhkan pertama yang harus dilakukan adalah dengan memberikan jumlah Bakteri yang cukup. Rasio dari massa substrat terhadap massa mikroorganisme yang tersedia untuk mengkonsumsi limbah adalah F/M, rasio food (F) terhadap mikroorganisme (M). Semakin rendah rasio ini maka akan menghasilkan prosentase limbah terbesar yang diubah menjadi gas. Akan tetapi, massa dari bakteri sulit untuk diukur karena sukar untuk mendifferentiate massa dari bakteri dari influent limbah. Tugas ini tidaklah mudah jika semua influent limbah menjadi biomassa atau menjadi gas. Pada kasus ini, secara sederhana rasio F/M adalah digester loading dibagi dengan konsentrasi volatile solid yang terdapat didalam digester (L/Cd). Efisiensi dapat ditingkatkan dengan merendahkan rasio F/M dengan meningkatkan konsentrasi biomassa di dalam digester. Untuk setiap konsentrasi biomassa yang diberikan kepada digester, efisiensi dapat ditingkatkan dengan menurunkan loading. Sayangnya, sebagian dari influent limbah tidak di proses atau di konversi menjadi biomassa atau gas oleh bakteri. Dalam kasus tersebut rasio F/M sama dengan VS loading dibagi VS digester terukur dikurangi Volatile Solid yang tidak terproses. Volatile solid yang tidak terproses dapat meliputi refractory atau produk

biologis yang tidak terdegradasi yang dihasilkan oleh bakteri (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

$$\frac{F}{M} = \frac{L_{VS}}{VS_D - VS_{UP}}$$

F = Food

M = Mikroorganisme

L<sub>VS</sub> = Loading Volatile Solid

VS<sub>D</sub> = Volatile Solid Digester

VS<sub>UP</sub> = Volatile Solid yang tidak terproses

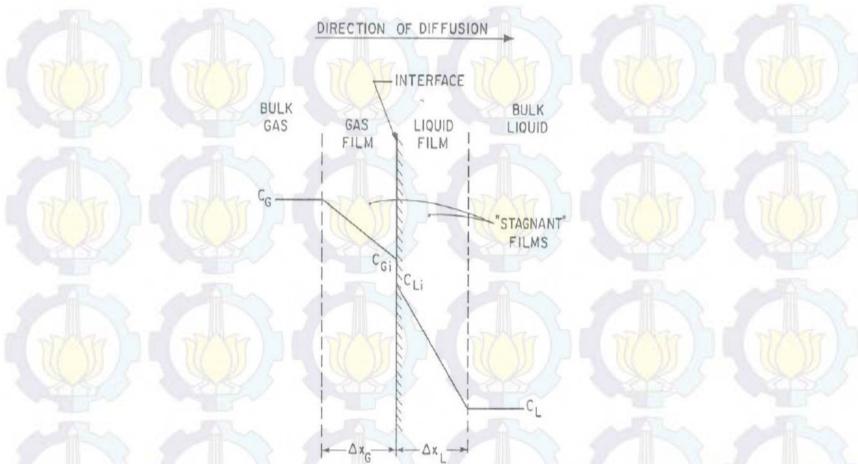
## II.7. Koefisien Perpindahan Massa

Koefisien perpindahan massa volumetrik  $k_{La}$ , adalah kecepatan spesifik dari perpindahan massa (gas terabsorpsi per unit waktu, per unit luas kontak. Per unit beda konsentrasi).  $k_{La}$  tergantung pada sifat fisik dari sistem dan dinamika fluida.

Koefisien perpindahan massa volumetrik,  $k_{La}$ , dipengaruhi oleh variabel-variabel bilangan Reynolds, bilangan Schmidt, geometri sistem yang digunakan dan perbandingan jumlah umpan dengan pelarut. Koefisien perpindahan massa umumnya dinyatakan dalam bentuk bilangan Sherwood. Korelasi empirik bilangan Sherwood melibatkan bilangan Reynolds dan bilangan Schmidt. Koefisien perpindahan massa gas-cair merupakan fungsi dari laju alir udara/ kecepatan superficial gas, viskositas, dan luas area.

sifat – sifat liquida seperti densitas, viskositas, tegangan permukaan dan difusitas. Semua faktor – faktor tersebut akan mempengaruhi koefisien perpindahan massa volumetrik. Mekanisme perpindahan massa adalah kecenderungan suatu komponen yang berada dalam suatu campuran untuk bergerak dari daerah yang berkonsentrasi tinggi ke daerah yang berkonsentrasi rendah. Laju perpindahan massa volumetrik dapat ditinjau sebagai perubahan P konsentrasi terhadap perubahan waktu  $dC/dt$ , dengan persamaan sebagai berikut :

$$dC/dt = kLa (C^* - C)$$



**Gambar II.10.** Teori lapisan film model perpindahan massa pada gas-liquid interface

- **Dimensi yang digunakan pada perpindahan massa**

$$Sc \text{ (Schmidt Number)} = \frac{\text{momentum diffusivity}}{\text{mass diffusivity}} = \frac{\mu}{\rho D_L}$$

$$Re \text{ (Reynold Number)} = \frac{\text{inertial forces}}{\text{visous force}} = \frac{dv\rho}{\mu}$$

$$Sh \text{ (Sherwood Number)} = \frac{\text{total mass transfer}}{\text{diffusi mass transfer}} = \frac{k_1 d}{D_L}$$

Koefisien perpindahan massa volumetric ( $K_1a$ ) merupakan parameter yang paling sesuai untuk menggambarkan efisiensi transfer massa gas (atau resistance) dalam fasa cair tergantung campuran media yang digunakan.

Pengukuran koefisien transfer massa biasanya dapat diukur dengan menggunakan gas hydrogen ( $H_2$ ), akan tetapi dapat dilakukan dalam operasi kondisi yang sama dalam hal ini dapat

menggunakan gas oksigen untuk menghitung K<sub>la</sub> metana agar pengukurannya lebih mudah. Gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah terdiri dari gas CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>. Oleh karena itu pengukuran juga dapat menggunakan oksigen karena merupakan gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah, jadi sifat fisik yang dimiliki sama. Pengukuran menggunakan oksigen diperbolehkan karena merupakan prosedur yang paling sederhana. K<sub>la</sub> nilainya sebanding dengan nilai akar dari diffusivitasnya. Sehingga, untuk menghitung K<sub>la</sub> dari metana dapat dihitung berdasarkan K<sub>la</sub> oksigen (O<sub>2</sub>) (Beckers, 2015).

## **II.8. Metode Untuk Meningkatkan Produksi Biogas**

Metode tersebut adalah penggunaan beberapa aditif yang dipakai dalam menaikkan produksi gas seperti :

### **1. Green biomass**

Additive biologis seperti tanaman yang berbeda-beda, limbah jagung, kultur mikroba dan lain-lain. Bubuk daun dari beberapa tanaman dan legume (seperti gulmohar, *Leucacena leucocephala*, *Acacia auriculiformis*, *Dalbergia sisoo* dan *Eucalyptus tereticornis*) sudah ditemukan bisa menstimulasi produksi gas antara 18 % dan 40 % (SBOBD, China, 1979; Chowdhry dkk., 1994). Additive tanaman juga bisa memperbaiki kondisi terbaik untuk kecepatan produksi gas didalam reactor seperti pH, inhibition/promotion proses acetogenesis dan methanogenesis untuk yield yang terbaik (Yadvika dkk., 2004). Penggunaan Alkali (1 % NaOH untuk 7 hari) pada sisa tanaman (lantana, wheat straw, apple leaf litter dan peach leaf litter) ketika digunakan sebagai supplement pada kotoran sapi menghasilkan 2 kali lipat kenaikan biogas dan CH<sub>4</sub> (Dar dan Tandon, 1987). Penambahan *Ageratum* yang sudah dihancurkan menghasilkan 43 % dan penambahan *Euphorbia tirucalli L.* menghasilkan 14 % gas lebih banyak dibandingkan dengan kotoran sapi murni (Kalia dan Kanwar, 1989; Rajasekaran, 1989; Trujillo dkk., 1993).

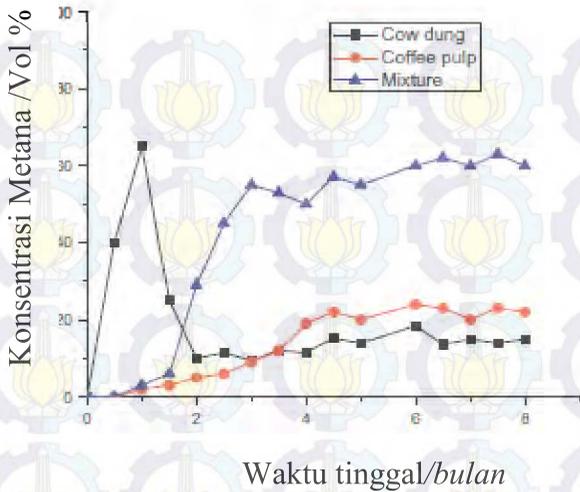
## 2. Microbial Strains

Selain penggunaan green biomass, bahan additive yang penting adalah penggunaan strain beberapa bakteri dan jamur untuk meningkatkan produksi gas dengan menstimulasi aktivitas enzim tertentu. Strain bakteri selulosa seperti actinomycetes dan campuran konsorsium bakteri telah ditemukan bisa memperbaiki produksi biogas pada range 8.4 sampai dengan 44 % pada biogas kotoran sapi (Tirumale dan Nand, 1994; Attar dkk., 1998). Semua strain menunjukkan batas aktivitas semua enzim yang mempengaruhi degradasi selulosa, viz. C1 enzim, enzim exglucanase, endoglucanase, beta glucosidase. Aktivitas enzim endoglucanase menjadi hal paling penting untuk hydrolysis selulosa (Yadvika et al, 2004).

## II.9. Hasil Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian sebelumnya yang mendasari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. G. Corro dkk. (2013) memproduksi metana menggunakan biomassa dari pulp kopi yang dicampur dengan kotoran sapi. kecepatan konversi metana pada substrat campuran pulp kopi dengan kotoran sapi sangat rendah, dalam 1,5 bulan pertama masih dibawah 10 % dan 2 bulan *digestion time* masih sekitar 30 %.. Walaupun pada konsentrasi metana campuran menghasilkan yield yang besar dari pada substrat lainnya namun SRT nya sangat lama, seperti yang digambarkan pada gambar II.10. dibawah ini.



**Gambar II.10.** *Evolusi CH<sub>4</sub> (% V) didalam yield biogas dari kotoran ternak dan limbah pulp kopi*

bertujuan untuk untuk memperbaiki efisiensi produksi metana dari biomassa, dengan menggunakan cairan rumen sebagai pretreatment dan mengurangi beban plant pemrosesan limbah rumah pemotongan hewan, dari penelitian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut; kecepatan degradasi biomassa NDF (dihitung dengan neutral detergent fiber) meningkat setelah produksi metana, dari 63.9 % pada control, menjadi 74.8 % pada (sample 6 jam) dan 75.3 % pada (sample 24 jam). Kemudian kecepatan degradasi selulosa naik dari 76.5 % menjadi 87.9 % pada sample 6 jam, dan dari 76.5 % menjadi 85.8 % pada sampel 24 jam. Dan kecepatan degradasi hemiselulosa juga meningkat, dari 40.6 % menjadi 55.2 % pada sample 6 jam, dan dari 40.6 % menjadi 57,5 % pada sample 24 jam dan untuk lignin hanya 10.7 % yang terdegradasi pada control, dimana 39.4 % pada sample 6 jam, dan 51.8 % pada sampel 24 jam. Yield methane yang

dihasilkan pada control 68.2 ml, pada sample 6 jam, 177,7 ml, dan pada sample 24 jam adalah 142 ml., sehingga methane yield yang dihasilkan 60.8 % pada control, 73.4 % pada sample 6 jam, dan pada 64.2 % pada sample 24 jam.

3. Zheng-Bo Yue, dkk. (2013) memberikan ulasan komprehensif pada pengembangan terkini proses digestion yang didominasi mikroorganisme rumen untuk konversi lignoselulose biomass. Hasil pengamatan SEM menunjukkan Rumen memiliki biofilm yang stabil dan padat. Formasi biofilm adalah keuntungan yang lain dari microorganism rumen. Hasil gambar resolusi tinggi AFM (Atomic Force Microscopy) yang dirangkai seri secara jelas menunjukkan proses formasi lubang dan microfibrils. Hal ini mengindikasikan bahwa tunneling mungkin menjadi salah satu mekanisme yang memungkinkan untuk mikroorganisme rumen untuk menyerang jerami. Mekanisme tunneling berarti bahwa mikroorganisme rumen tidak harus mendegradasi semua wax dan fraksi lignin pada fiber. Hal ini juga menerangkan kenapa fungi yang mendominasi pada rumen pada phase awal bisa mendegradasi lignin, tapi tidak ada pada bagian fase tertentu. Mikroorganisme rumen mempunyai aktivitas hidrolisis dan aktivitas acidogenesis yang lebih tinggi ketika menggunakan biomassa berlignoselulosa sebagai substratnya dibandingkan dengan inokulum mikroba lainnya. Dalam penelitian ini Z-B Yue dkk., menyarankan menggunakan System Anaerobic Digester CSTR karena teknologinya aman jika system mixing dipakai untuk menghindari meluapnya biomassa berlignoselulosa ketika dipakai.

4. Zhen-Hu Hu dan Han-Qing Yu, (2005) meneliti anaerobik digestion tanaman air cattail (*Typha latifolia* linn), tanaman berlignoselulosa, dengan mikroorganisme rumen dalam kultur batch, dengan substrat yang mengandung 12.4 g/l volatile solid, dan pH 6.7, maka didapat konversi maksimum volatile solid sebanyak 66 %, dalam waktu 125 jam. Menurunnya pH dari 6.7 menjadi 5.8 menyebabkan berkurangnya konversi volatile solid.

Total VFA yang dihasilkan 371,9 mg/g volatile solid, specific growth rate 0.089/jam, dan total organik karbon yang terlarut adalah 132.7 mg/g volatile solid.

5. A.K. Kivaisi dan S. Eliapenda (1994) meneliti aplikasi rumen untuk memperbaiki degradasi anaerobik pada bagas dan dedak jagung dengan reactor batch dan kontinu dengan pH yang sama dengan pH rumen, suhu 39°C dan konsentrasi substrat sebanyak 20 g total solid per liter dalam kondisi batch, didapatkan degradasi maksimum 49 sampai dengan 52 % dari total fraksi serat awal, dengan masa inkubasi selama 168 jam. Sedangkan dalam kondisi kontinu dengan loading rate 20 dan 35 g total solid per liter per hari dan SRT 60 jam dan HRT 19 jam, total fibre degradation adalah 54 – 69 % dengan 30 % lignin yang hilang.

6. Andre Pauss, Gerald Andre (1990) meneliti perpindahan massa dari liquid ke gas pada proses anaerob dengan membandingkan dissolved hydrogen pada 3 reaktor yang berbeda yaitu completely stirred reactor, sludge bed reactor, UBF reactor. Penelitian ini hanya khusus meneliti H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> karena merupakan gas yang berpengaruh pada proses anaerob. Pada reactor completely stirred reactor didapatkan kLa yang rendah yaitu 0.16 dan 0.09 h<sup>-1</sup>, untuk reactor sludge bed reactor didapatkan kLa CH<sub>4</sub> sebesar 0.03 h<sup>-1</sup>, dan pada UBF reactor kLa CH<sub>4</sub> 0.03 h<sup>-1</sup>.



\* Halaman ini sengaja dikosongkan \*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **III.1. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Biokimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya .

#### **III.2. Bahan, Alat**

##### **III.2.1 Bahan Penelitian**

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jerami padi, cairan rumen, kotoran sapi, demin water, akuades,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe-EDTA}$ ,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , yeast extract, kertas saring Whatman, kasa steril, kertas tisu, glukosa,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , kertas lakmus, Alkohol, L-Cysteine, aceton, hexan.

##### **III.2.2 Alat Penelitian**

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *Autoclave* (Astell Scientific), *Hot plate & stirrer* (Snijders), *Spectrophotometer* (Cecil), *Analytical balance* (Ohaus), *Incubator* (Incucell), tabung reaksi, gelas ukur (pyrex), corong kaca, pipet volumetrik (pyrex), pipet tetes, gelas beker (pyrex), labu ukur (pyrex), erlemeyer (pyrex), *Furnance Lin High Therm VMK 135* Germany, Oven (VWR Scientific), *Vortex* (VM-300), Spatula, Handle Mixing Crank, rak kayu, kuvet, rangkaian alat reaktor batch, dan kain halus, ember, termos, thermometer, cawan keramik, microtube, manometer, Syringe, Gas Holder.

#### **III.3. Variabel Penelitian dan Kondisi Operasi**

##### **III.3.1. Variabel Penelitian**

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

###### **A. Variabel**

a. Variabel volume sludge feed

1. 5% volume
2. 10% volume
3. 15% volume

b. Variabel pengadukan

- 1.0 rpm
- 2.10 rpm
- 3.30 rpm

c. Variabel waktu sampling

NO	Hari Ke	Variabel
1	0	%VS,%TS, viskositas, dan densitas
2	3	%VS, %TS, COD, kurva pertumbuhan bakteri,viskositas, dan densitas
3	7	%VS, %TS,Kandungan metana, VFas, COD, kurva pertumbuhan bakteri,viskositas, dan densitas
4	11	%VS, %TS,COD, kurva pertumbuhan bakteri,viskositas,dan densitas
5	15	%VS, %TS,Kandungan metana, VFas,COD, kurva pertumbuhan bakteri,viskositas, dan densitas
6	19	%VS, %TS,COD, kurva pertumbuhan bakteri,viskositas, dan densitas
7	21	%VS, %TS,Kandunganr metana, VFas, COD, kurva pertumbuhan bakteri,viskositas, dan densitas

V(%)	Pengadukan ( RPM )		
	5	0	10
10	0	5	10
15	0	5	10

Tabel. III.1. Tabel Variabel waktu sampling

### III.3.2 Kondisi Operasi Penelitian

Volume Reaktor	: 6 liter
Volume Kerja	: 3.7 liter
T Operasi	: 30-40°C
pH	: 7
SRT	: 21 hari
System	: Batch

### III.4. Tahapan Metodologi Penelitian

Rangkaian penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

- I. Fermentasi Anaerobik
  1. Persiapan Substrat Bahan dan Pretreatment Jerami Padi
  2. Fermentasi Anaerobik
  3. Metode Analisa
- II. Koefisien Transfer Massa
  1. Persiapan Bahan dari hasil Fermentasi anaerobic
  2. Pengukuran O<sub>2</sub> terlarut dengan DO meter
  3. Perhitungan koefisien transfer massa CH<sub>4</sub>

### III.5 Fermentasi Anaerobik

#### III.5.1. Persiapan Substrat Bahan

##### III.5.1.1. Jerami Padi

Jerami padi diambil dari sebuah lahan pertanian di daerah Sumenep Madura sebanyak 5 shak/glangsing. Kemudian jerami padi dipretreatment dengan

mekanis dan thermal dengan melakukan pengeringan selama 2 hari dengan sinar matahari sampai kering. Setelah itu dimasukkan mesin penggiling untuk mendapatkan jerami padi dengan ukuran dibawah 1mm x 1 mm. memudahkan analisa jerami padi diayak dengan ukuran 100 mesh di Laboratorium Teknologi Biokimia Jurusan Teknik Kimia ITS untuk di pretreatment dan dianalisa kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignoselulosanya, kandungan Volatile Solid (VS), kandungan Total Solid (TS) sebelum dilakukan proses fermentasi anaerobic ( *Metode Jin dkk,2014* )

#### **III.5.1.2 Rumen sapi**

Cairan rumen diambil dari sapi yang baru dipotong dari RPH Pegirian Surabaya sebanyak  $\pm$  19 liter. Kemudian dibawa ke Laboratorium Teknologi Biokimia Jurusan Teknik Kimia ITS, untuk disaring dengan saringan 1mm x 1mm untuk menghilangkan material kasar, kemudian dimasukkan kedalam thermos yang sudah diisi dengan Nitrogen dan disimpan pada suhu 37°C dalam incubator ( *Baba dkk 2013; Jin dkk,2014* )

#### **III.5.2 Proses Pre-treatment Untuk Mendapatkan Sludge**

Sludge untuk feed digester adalah campuran dari jerami padi yang sudah dihaluskan dan diayak, cairan rumen, air, dengan komposisi ( 17% air, 37% cairan rumen, 46% jerami padi ) ( *G. Corro dkk,2013* ). Untuk variable mikroorganismenya yang lain menyesuaikan.

#### **III.5.3 Tahap Fermentasi Anaerobik**

Fermentasi dengan cairan rumen dilakukan secara batch, pada suhu 37°C selama 21 hari dan pH 7 ; ( *Hu dan Yu,2006* ). Volume digester yang dipakai adalah 6 liter dengan volume kerja 3.7 liter ( 70% volume; *Baba dkk,2013* ). Proses anaerobic digestion dilakukan dengan memasukkan

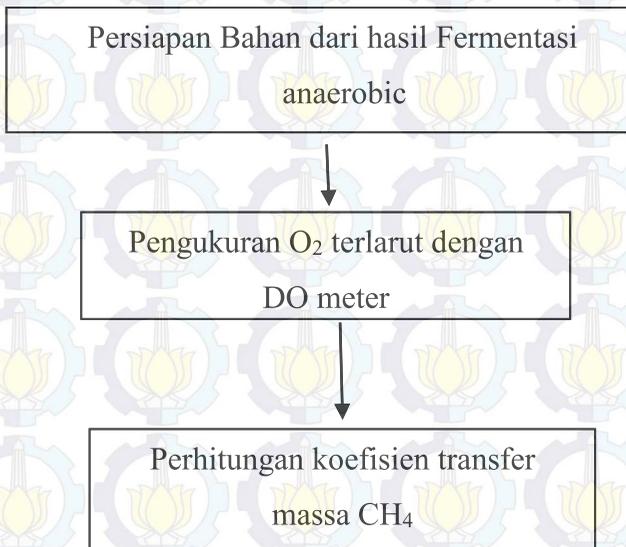
sludge feed awal (Corro dkk,2013). Selanjutnya dimulai proses anaerobic selama 24 jam, kemudian dimasukkan sludge yang sudah dipretreatment secara biologis pada hari ke-2 dan seterusnya dengan variable 5%,10%,15% dari volume kerja tiap satu hari sekali, dan nutrisi untuk memperbaiki pertumbuhan bakteri diantaranya adalah 2 g/l  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , 4 g/l  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 0.06 g/l  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 0.025 g/l  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 0.025 g/l  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.03 g/l Fe-EDTA, 0.005 g/l  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.005 g/l  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.005 g/l  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 0.1 g/l yeast extract. Proses anaerobic ini berlangsung secara batch dan dilakukan pengambilan sampel setiap 5 hari untuk dianalisa kurva pertumbuhan bakteri, analisa COD, analisa kandungan biogas, analisa VFAs, dan analisa koefisien perpindahan massa.



**Gambar III.1.** Diagram Alir Penelitian Fermentasi Anaerobik

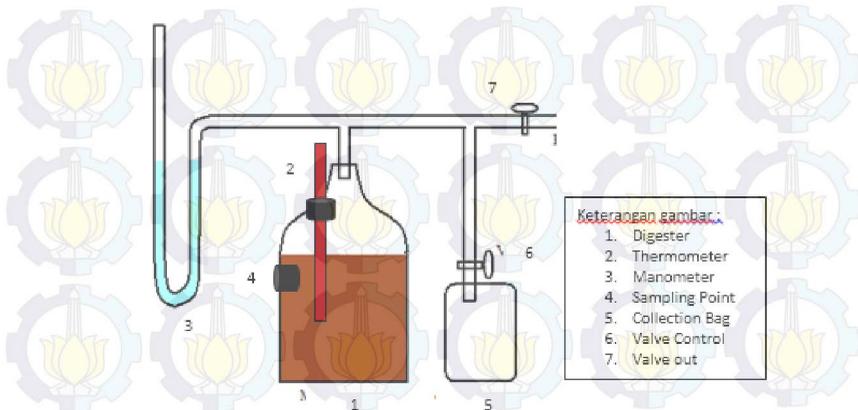
### III.6 Tahap Koefisien Perpindahan Massa

Perhitungan koefisien perpindahan massa dilakukan dengan menggunakan alat DO meter. Sampel yang digunakan merupakan hasil dari fermentasi anaerobic. Pengukuran koefisien perpindahan massa dilakukan pada setiap viskositas dan pada variable RPM dan % Volum dari volume mikroorganismen yang dilakukan pada proses anaerobic.

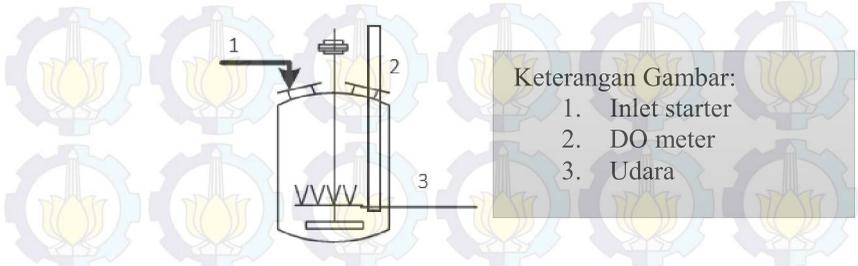


**Gambar III.2.** Diagram Alir Penelitian Koefisien Perpindahan Massa

## Tahap Fermentasi Anaerobik



**Gambar III.3.** . Skema Alat Penelitian untuk fermentasi anaerobik (*Corro dkk., 2013; Yue dkk., 2013*)



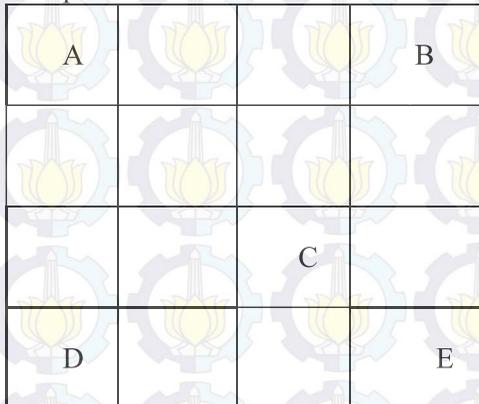
**Gambar III.4.** . Skema Alat Penelitian untuk Koefisien Perpindahan Massa

### III.4.5 Metode Analisa

#### III.4.5.1. Analisa Jumlah Bakteri dengan Metode *Counting Chamber*

Sebelum menghitung jumlah sel, diperlukan pengenceran yang bertujuan mempermudah pengamatan *counting chamber*. Sebanyak 1 mL sampel mikroalga diambil menggunakan pipet tetes, diencerkan dengan aquadest hingga 10 mL.

Diambil sampel secukupnya dengan menggunakan pipet tetes dan diletakkan pada tepi kaca tutup, maka dengan sendirinya tetesan tersebut akan mengalir ke bawah kaca tutup dan mengisi ruang hitung. Jika jumlah sel dalam 1 persegi kecil lebih dari 10 sel dan dalam 1 persegi besar lebih dari 100 sel, maka sampel perlu diencerkan kembali. Letakkan hemasitometer pada meja objek mikroskop. Tetapkan 5 titik dari 16 kotak terkecil pada hemasitometer seperti **Gambar III.5**.



A			B
		C	
D			E

**Gambar III.5** Penentuan titik hitung pada hemasitometer  
Jumlah sel pada 5 titik dicatat dan diulangi hingga 3 kali.  
Hasil perhitungan jumlah sel setiap titiknya di rata – rata.  
Kemudian jumlah sel/mL dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah sel/mL} = \frac{(\text{Jumlah sel rata-rata})}{0,0025 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times \text{faktor pengecenceran}$$

### III.4.5.2. Analisa Kandungan Metana

Untuk menganalisa kandungan gas metana dalam sampel dengan menggunakan Gas Chromatography (GC). Untuk Pengambilan sampel gas dilakukan dengan penyedotan menggunakan *syringe* yang disuntikkan melalui selang yang terhubung pada kran digester kemudian secepatnya ditampung ke dalam venojeck. Analisis kadar metana dilakukan dengan gas kromatografi (GC), dengan cara sebagai berikut. Sampel gas sebanyak 1 ml diinjeksikan ke dalam injektor dengan temperatur injeksi 170°C. Kemudian dideteksi menggunakan detektor FID dengan temperatur 170°C. Pada kondisi yang sama diinjeksikan juga gas *acethyleen* sebagai standar pembanding. Hasil deteksi yang didapat berupa puncak grafik dicatat dengan *recorder* untuk diketahui luas areanya.

Konsentrasi gas metan didapat dengan rumus :

$$\% \text{ relatif gas metan} = \frac{\text{luas area sampel}}{\text{luas area pembanding}} \times 99,9\%$$

### III.4.5.3. Analisa VFAs

VFAs adalah precursor metana, semakin tinggi VFAs maka semakin tinggi konversi yield metana yang dihasilkan (Kivaisi, 1994). Untuk menganalisa kandungan VFAs Sampel slurry diambil melalui sampling valve digester dengan menggunakan *syringe* dan selang kemudian ditampung ke dalam *ependoff* 1,5 ml, kemudian disentrifuge untuk me-misahkan filtrat dan endapan. Filtrat kemudian di analisis VFAnya dengan

menggunakan menggunakan High Performance Liquid Chromatography (HPLC).

#### Analisa HPLC

Pompa : Isocratic HPLC pump Waters 1515

Autosampler : Autosampler Waters 2707

Detector : Refractive Index Detector Waters  
2414

Kondisi Operasi :

Kolom : Aminex HPX87P (Biorad, CA)

Resin Ionic Form: Hydrogen

Support : Sulfonate divinyl benzene-styrene  
copolymer 8% cross linkage

Particle size: 9 micro-meter

Temperature : 80 °C

Mobile phase : Pure water

Flow rate : 0.6 mL/ minute

#### **III.4.5.4. Analisa Total Solid (TS) dan Volatil Solid (VS)**

Jumlah TS biasanya direpresentasikan dalam % TS bahan baku organik. *Volatil solid* (VS) merupakan materi organik atau padatan organik yang menguap pada proses pembakaran diatas 500°C. Analisa VS ini perlu dilakukan untuk mengetahui banyaknya materi organik yang bisa menguap. Materi organik inilah yang akan dikonversikan menjadi biogas oleh bakteri metana., jumlah VS biasanya direpresentasikan dalam % VS.

#### Analisa TS

Cawan penguap dipanaskan selama 2 jam pada suhu 130°C, kemudian dinginkan didalam desikator, setelah dingin cawan kosong ditimbang. sebanyak 10 ml sampel dimasukkan ke dalam cawan yang telah ditimbang sebelumnya kemudian ditimbang kembali. cawan berisi sampel dimasukkan ke dalam oven kemudian dipanaskan selama 4 jam pada suhu 130°C untuk

menghilangkan kadar airnya. setelah cawan didinginkan, kemudian ditimbang kembali sampai beratnya tetap.

$$\text{Total Solid} = a \times (1000/v)$$

a = Selisih berat cawan setelah dipanaskan dengan sebelum dimasukkan sampel.

v = volume sampel.

#### **Analisa abu dan VS**

Cawan berisi sampel yang telah ditimbang TS-nya kemudian dipanaskan kembali di dalam *muffle furnace* pada suhu 700°C selama 3 jam. Setelah itu cawan penguap didinginkan hingga mencapai suhu kamar dan ditimbang kembali beratnya.

$$\text{Ash [mg/l]} = a \times (1000/v)$$

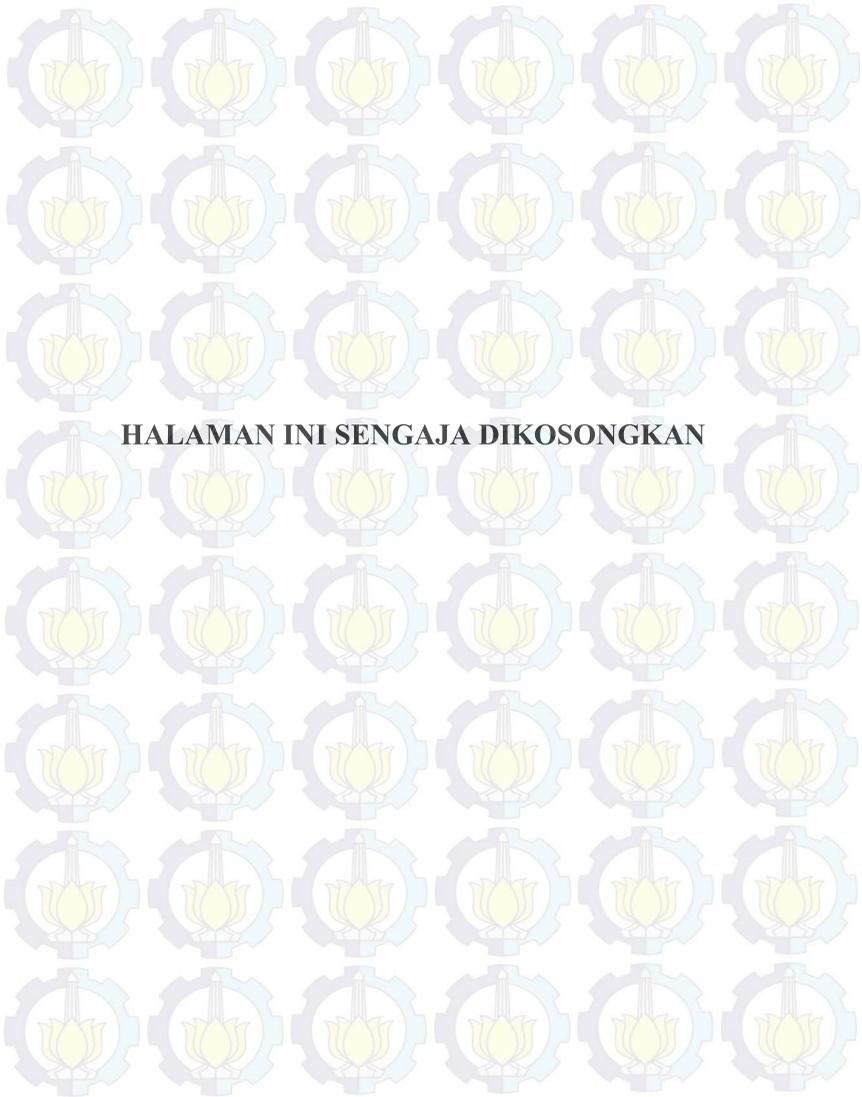
a = perbedaan berat dari cawan penguap setelah dipanaskan pada suhu 700°C dengan berat cawan kosong.

v = volume sampel.

$$\text{VS [mg/l]} = \text{TS [mg/l]} - \text{Ash [mg/l]}$$

#### **III.4.5.5 Pengukuran COD**

Proses anaerob merupakan proses yang kompleks dengan melibatkan berbagai kelompok bakteri. Keterlibatan antara kelompok ini saling menguntungkan satu sama lainnya karena tidak terjadi saling kompetisi antara kelompok dalam rangka pemanfaatan nutrient atau substrat. Pengolahan limbah secara anaerob merupakan proses degradasi senyawa organik seperti karbohidrat, protein dan lemak yang terdapat dalam limbah cair oleh bakteri anaerob tanpa kehadiran oksigen menjadi biogas yang terdiri dari CH<sub>4</sub> (50-70%) dan CO<sub>2</sub> (25-45%), serta H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S dalam jumlah kecil. Proses anaerob umumnya digunakan untuk mengolah limbah cair dengan COD di atas 4000 mg/l (Syafila dkk,2003)



**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini dilakukan untuk mengolah limbah cair dengan parameter kurva pertumbuhan bakteri, penurunan kadar COD, analisa VFAs, analisa VS & TS, analisa koefisien perpindahan massa yang terjadi setelah proses methanasi, sekaligus untuk mengetahui berapa volume biogas yang terbentuk. Penelitian ini dilakukan dengan variabel volume limbah mikroorganisme rumen 5%, 10%, dan 15%. Sedangkan untuk variabel koefisien perpindahan massa menggunakan variabel pengadukan sebesar 0 rpm, 10 rpm, dan 30 rpm, serta dioperasikan, yaitu temperatur 30° C, tekanan atmosferik. Dari penelitian ini dapat dilihat pengaruh volume limbah terhadap penurunan kadar COD dan volume biogas yang dihasilkan, serta koefisien perpindahan massa yang terjadi.

#### **IV.1 Kurva Pertumbuhan Bakteri terhadap produksi Biogas**

Kurva pertumbuhan bakteri dianalisa dengan cara menghitung jumlah bakteri dengan menggunakan mikroskop. Sampel sebanyak 0.1 ml diencerkan dengan aquades sebanyak 9.9 ml dengan pengenceran 100x. Setelah itu sampel diletakkan di hemasitometer untuk di amati jumlah bakteri dengan menggunakan mikroskop. Kurva pertumbuhan bakteri di amati setiap 5 hari sekali setiap variabel volume mikroorganisme rumen yaitu 5% 10% dan 15%. Setelah didapatkan jumlah bakteri tiap area, seperti yang terdapat pada gambar IV-1 yaitu luasan tiap hemasitometer, selanjutnya jumlah sel dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Jumlah sel/mL} = \frac{(\text{Jumlah sel rata-rata})}{0,002 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times \text{faktor pengenceran}$$

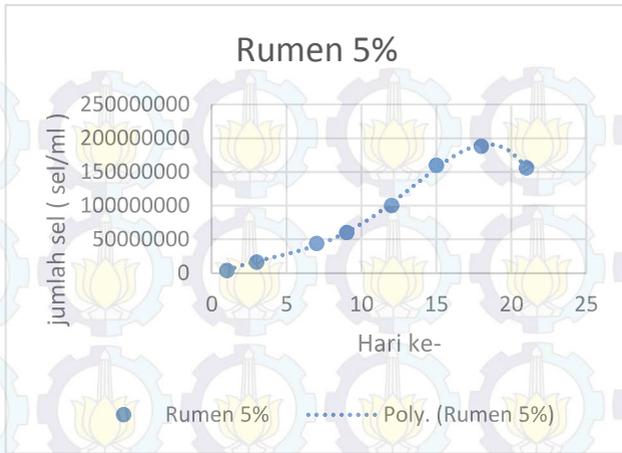
dimana  $0,002 \text{ mm}^2$  merupakan luas area ABCDE dan  $0,1$  merupakan tebal hemesitometer.

A			B
		C	
D			E

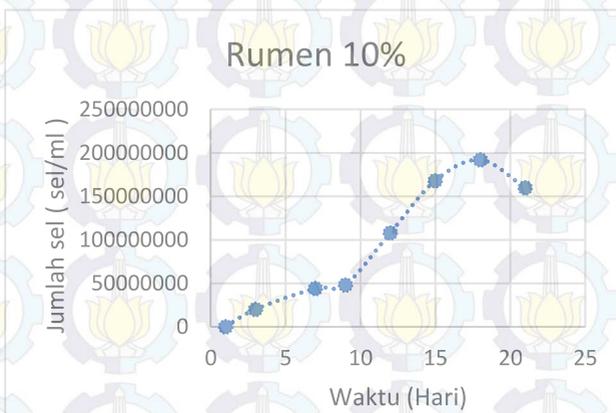
**Gambar IV-1.** Penentuan titik hitung pada hemesitometer

Bakteri rumen terdiri dari jenis gram positif dan gram negatif. Perbedaan utama antara bakteri gram positif dan gram negatif terletak pada struktur dinding sel. Dinding sel bakteri gram negatif merupakan struktur berlapis, sedangkan bakteri gram positif mempunyai satu lapis yang tebal. Bakteri gram positif memiliki kandungan peptidoglikan yang tinggi dibandingkan bakteri gram negatif, disamping itu kandungan lipid pada dinding sel bakteri gram positif lebih rendah dari dinding sel bakteri gram negatif (Waluyo, 2005). Spesies bakteri rumen yang termasuk dalam gram positif antara lain *Lactibacillus ruminis*, *Lactobacillus vitulinus*, *Eubacterium ruminantium*, *Clostridium polysaccarolyticum*, *Streptococcus bovis* dan *Butyrvibrio fibrisolvans*, sedangkan yang termasuk dalam gram negatif antara lain *Prevotella sp.*, *Ruminobacter amylophilus*, *Fibrobacter succinogenes*, (Hobson dan Stewart, 1997).

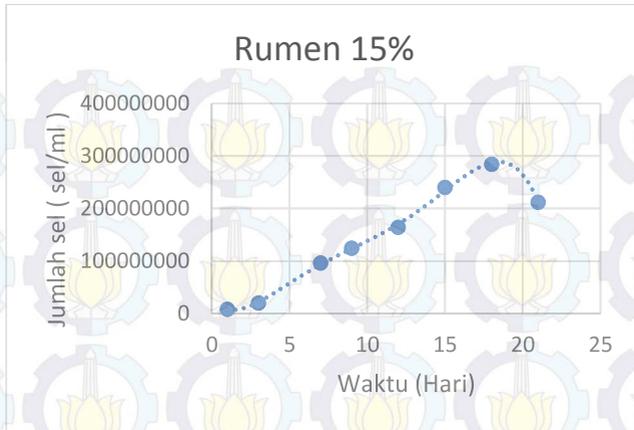
Untuk menghitung jumlah bakteri pada hemasitometer menggunakan metode *counting chamber* tidak dapat membedakan antara sel yang hidup dengan yang mati, sehingga kita menghitung semua jumlah yang ada pada luasan tiap area ABCDE. Untuk membedakan antara sel yang mati dengan yang hidup, dapat digunakan metode pewarnaan sederhana untuk membedakan sel hidup dan sel mati tersebut. Pengamatan mikroskopis sel dapat dilakukan dengan membuat preparat basah yang diberi larutan methylin blue. Pada pengecatan sederhana yaitu pemberian methylin blue 0,1 %, sel mikroorganisme dapat dibedakan antara sel yang mati dengan yang hidup. Pada sel yang mati akan berwarna biru. Sedangkan yang hidup tidak berwarna (transparan). Hal ini disebabkan oleh sifat membran sel yang selektif permeabel. Pewarnaan pada sel didasarkan pada perbedaan permeabilitas antara sel yang hidup dan yang mati, untuk sel yang mati akan lebih tajam/ kontras warnanya karena sel menjadi sangat permeabel terhadap warna. Pada pengamatan sel yang hidup berwarna transparan, warna sel hidup berwarna transparan disebabkan karena sel membrannya masih memiliki sifat selektif permeabel sehingga cat methylen blue tidak dapat masuk. Sedangkan sel mati berwarna biru karena membran selnya tidak memiliki sifat selektif permeabel sehingga cat dapat masuk yang menyebabkan sel berwarna biru. (Pelczar, 1986). Hasil kurva pertumbuhan bakteri dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



**Gambar IV-2.** Kurva Pertumbuhan Bakteri pada variable Rumen 5%



**Gambar IV-3.** Kurva Pertumbuhan Bakteri pada variable Rumen 10%



**Gambar IV-4.** Kurva Pertumbuhan Bakteri pada variable Rumen 15%

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa produksi biogas dapat dilihat bahwa semakin hari jumlah mikroba semakin meningkat. Pertumbuhan sel merupakan puncak aktivitas fisiologis yang saling mempengaruhi secara berurutan. Proses pertumbuhan ini sangat kompleks mencakup pemasukan nutrisi dasar dari lingkungan ke dalam sel, konversi bahan nutrisi menjadi energi dan berbagai konstituen vital sel serta perkembangbiakan. Pertumbuhan mikroba ditandai dengan peningkatan jumlah dan massa sel serta kecepatan pertumbuhan tergantung pada lingkungan fisik dan kimia.

Dari ketiga grafik tersebut di atas dapat diketahui bahwa pertumbuhan bakteri baik pada ketiga variabel volume mikroorganisme rumen tersebut cenderung meningkat, akan tetapi lebih banyak jumlah sel bakteri pada variabel volume mikroorganisme rumen 15%. Karena pertumbuhan bakteri ditandai dengan semakin bertambahnya jumlah sel bakteri. Fase Lag dapat dilihat terjadi peningkatan ukuran sel, mulai pada waktu sel tidak atau sedikit mengalami pembelahan, yang mana pada ketiga grafik terjadi pada hari ke-7 sampai ke-9 pada variabel 5%, 10%, dan 15%. Sedangkan fase eksponensial atau

logaritmik, sel berada dalam keadaan pertumbuhan yang seimbang yang mana pada grafik terdapat pada hari ke-12 sampai ke-15 untuk ketiga variable tersebut. Setelah melewati fase lag dan fase log selanjutnya yaitu fase stasioner, Selama fase ini, jumlah sel yang hidup tetap konstan untuk periode yang berbeda, bergantung pada bakteri, tetapi akhirnya menuju periode penurunan populasi. Pada grafik, fase stasioner ditunjukkan pada hari ke- 18. Sedangkan untuk fase death/ kematian , jumlah sel yang mati lebih banyak daripada sel yang hidup dan pada ketiga grafik ditunjukkan pada hari ke-21. Hasil tertinggi jumlah bakteri terdapat pada variable 15% yaitu pada hari ke-21 sebesar 200.000.000 sel/ml. (Brock,1991)

#### **IV.2 COD (Chemical Oxygen Demand) dalam Proses Fermentasi Anaerobik**

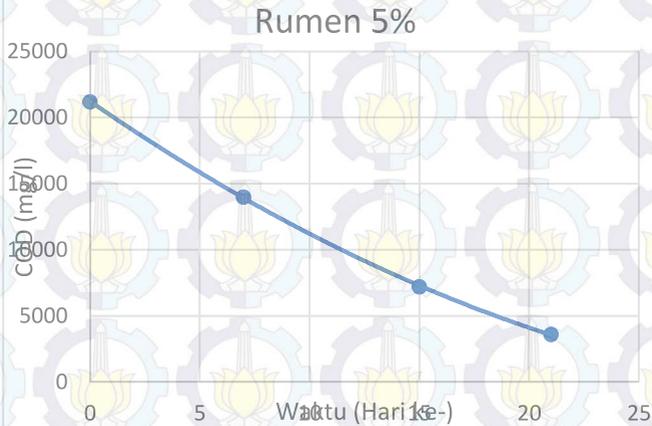
Analisa COD dilakukan dengan mengambil sampel dengan volume tertentu yang kemudian dipanaskan dengan larutan kalium dikromat dengan kepekatan teretentu. Dengan katalis asam sulfat diperlukan waktu dua jam, maka kebanyakan zat organik telah teroksidasi. Dengan penentuan jumlah kalium dikromat yang dipakai, maka COD dapat dihitung. Analisa COD dilakukan setiap 5 hari sekali selama 21 hari.

Perombakan (degradasi) limbah cair organik akan menghasilkan gas metana, karbondioksida dan gas-gas lain serta air. Perombakan tersebut dapat berlangsung secara aerobik maupun anaerobik. Pada proses aerobik limbah cair kontak dengan udara, sebaliknya pada kondisi anaerobik limbah cair tidak kontak dengan udara luar (Sugiharto, 1987).

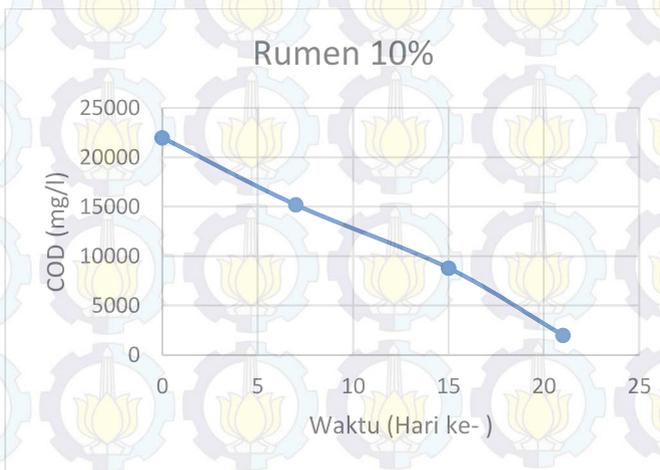
Proses tersebut memerlukan bakteri untuk menguraikan glukosa sampai terbentuk biogas. Terbentuknya biogas diindikasikan dengan turunnya kadar COD. Semakin besar penurunan kadar COD, maka volum biogas yang dihasilkan juga semakin banyak. Penurunan kadar COD dalam digesti anaerobik menunjukkan bahwa material selain asam dapat terdegradasi (Hobson *et al.*, 1984). Dapat dikatakan bahwa proses degradasi

bahan organik kompleks menjadi metan dan biogas berjalan efektif.

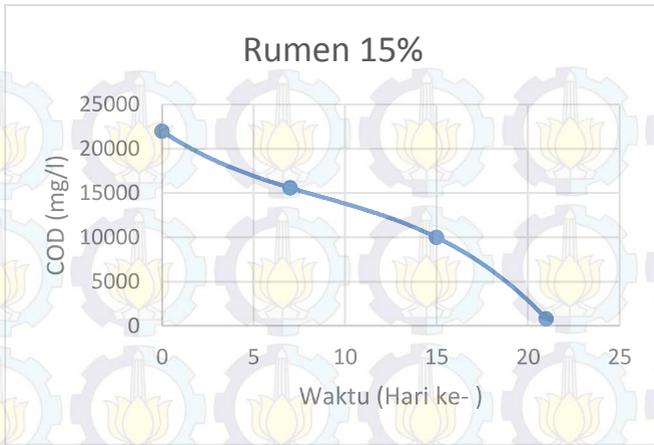
Hasil analisa penurunan kadar COD dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



**Gambar IV-5.** Grafik COD pada variable Rumen 5%



**Gambar IV-6.** Grafik COD pada variable Rumen 10%



**Gambar IV-7.** Grafik COD pada variable Rumen 15%

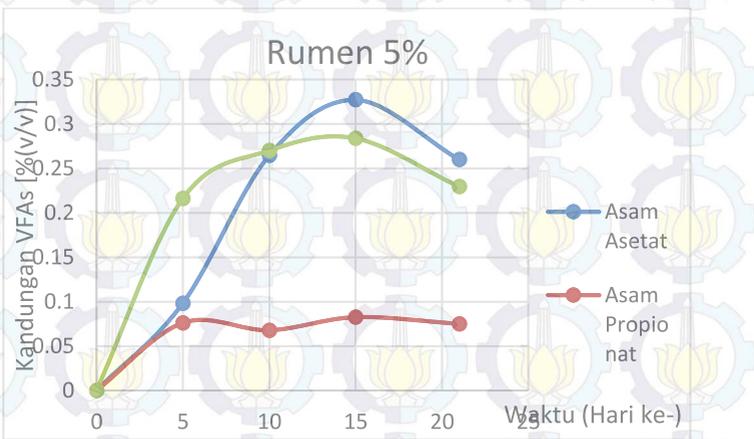
Dari ketiga grafik dapat dilihat bahwa kadar COD cenderung menurun. Penurunan kadar COD yang paling besar pada penelitian ini dicapai pada waktu (hari) ke-21 yaitu sebesar 4000 mg/l untuk variable 5%; 2800 mg/l untuk variable 10%; dan 3200 mg/l untuk variable 15%. Waktu tinggal dalam reaktor anaerob sangat mempengaruhi penurunan kadar COD, karena bakteri memerlukan waktu untuk menguraikan senyawa organik menjadi biogas. Semakin banyak penurunan kadar COD, maka volume biogas yang dihasilkan semakin banyak (Nkemka,2015)

### **IV.3 Pengaruh VFAs (Volatile fatty Acids) Terhadap Kandungan Biogas**

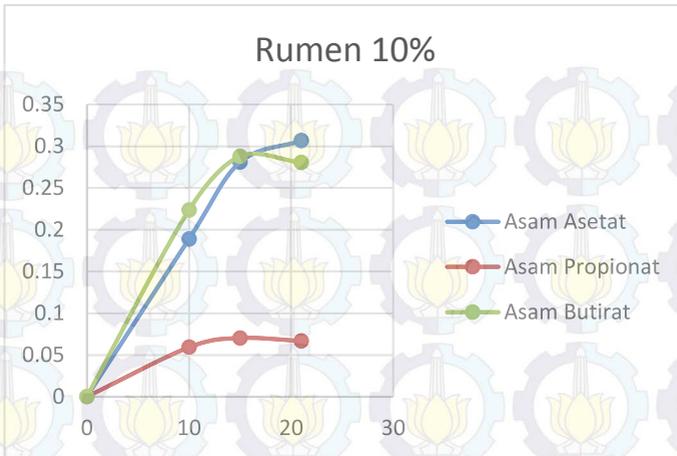
Untuk menganalisa kandungan VFAs Sampel slurry diambil melalui sampling valve digester dengan menggunakan syringe dan selang kemudian ditampung ke dalam eppendoff 1,5 ml, kemudian disentrifuge untuk me-misahkan filtrat dan endapan. Filtrat kemudian di analisis VFAnya dengan menggunakan menggunakan Gas Chromatography (GC). Analisa dilakukan setiap 5 hari sekali.

Asam *volatile* diubah menjadi metan dan CO<sub>2</sub> dan produk lain (Shuler dan Kargi, 2002; Polpra-sert, 1995). Kadar VFA, terutama asam asetat, terus meningkat seiring dengan waktu produksi. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan mikrobia aseto-genik meningkat, berpengaruh pada jumlah produksi biogas yang meningkat.

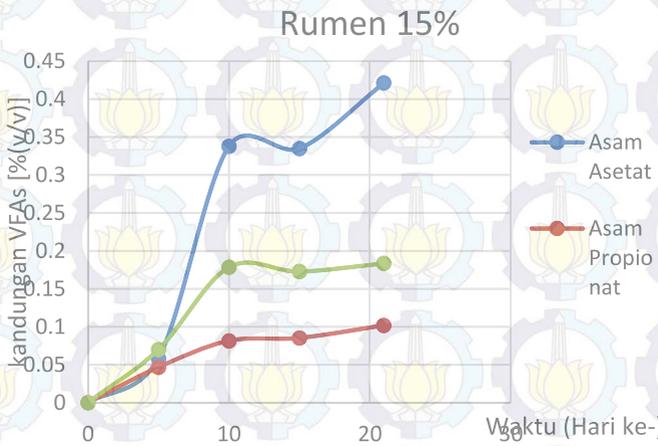
Data analisa VFAs dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



**Gambar IV-8** Grafik VFAs pada variable Rumen 5%



**Gambar IV-9** Grafik VFAs pada variable Rumen 10%



**Gambar IV-10.** Grafik VFAs pada variable Rumen 15%

Beberapa faktor yang mempengaruhi konsentrasi VFA antara lain pemanfaatan mikroba, penyerapan serta fermentabilitas dari karbohidrat. VFAs terdiri dari VFAs adalah precursor metana, semakin tinggi VFAs maka semakin tinggi konversi yield metana yang dihasilkan. Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai VFAs cenderung meningkat sehingga konversi metana yg dihasilkan juga tinggi. (Kivaisi, 1994).

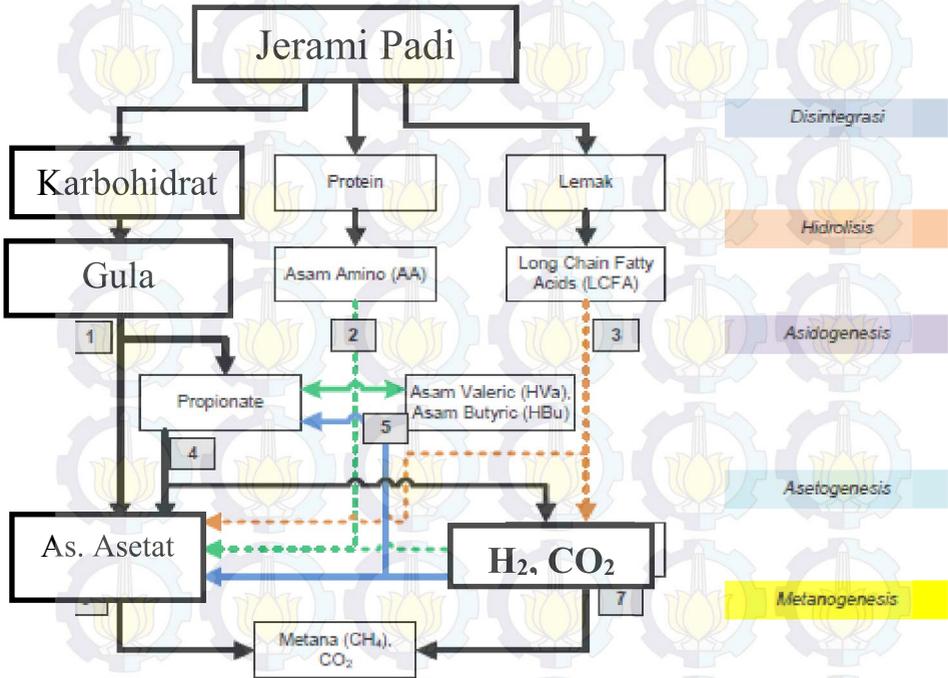
#### **IV.4 Kandungan Metana (CH<sub>4</sub>)**

Untuk menganalisa kandungan gas metana dalam sampel dengan menggunakan Gas Chromatography (GC). Untuk Pengambilan sampel gas dilakukan dengan penyedotan menggunakan *syringe* yang disuntikkan melalui selang yang terhubung pada kran digester kemudian secepatnya ditampung ke dalam venaject. Analisis kadar metana dilakukan dengan gas kromatografi (GC).

Selama proses fermentasi anaerob limbah cair sampai menghasilkan biogas dibutuhkan lima bakteri kelompok fisiologi yang semuanya terlibat pada seluruh proses fermentasi. Menurut Brock (1991), untuk mengubah polisakarida menjadi metan melibatkan lima bakteri utama kelompok fisiologi pada seluruh proses. Bakteri-bakteri tersebut, yaitu bakteri selulolitik atau bakteri hidrolitik, bakteri fermentatif, bakteri asam asetat (acetogen), bakteri yang menghasilkan H<sub>2</sub> dan mengoksidasi asam lemak, dan bakteri metanogenik (metanogen). Bakteri pembentuk asam antara lain: *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes* yang mendegradasi bahan organik menjadi asam-asam lemak. Selanjutnya asam-asam lemak didegradasi menjadi biogas yang sebagian besar adalah gas metana oleh bakteri metana antara lain: *Methanobacterium*, *Methanosarcina*, dan *Methanococcus*.

Proses fermentasi anaerobik berlangsung dalam 3 tahap secara berantai, yaitu tahap hidrolisa, acidogenesis, dan metanogenesis. Tahap hidrolisa, yaitu menguraikan senyawa organik (polimer) menjadi senyawa organik sederhana(monomer). Tahap acidogenesis, mengubah senyawa

organik sederhana menjadi asam organik yang mudah menguap, seperti asam asetat, asam butirat, asam propionat. Tahap metanogenesis, yaitu tahap pembentukan methana oleh bakteri metanogenesis.



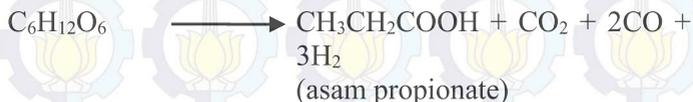
**Gambar IV- 11.** Tahapan Proses Anaerobik Yang Sinergis dan Berkesinambungan (Yadvika dkk., 2004).

Berdasarkan bagan di atas, dapat dilihat bahwa proses fermentasi berlangsung pada 3 tahap yaitu, tahap hidrolisis, tahap acidogenesis, dan tahap metanogenesis.

1. **Tahap hidrolisis**, molekul organik kompleks dipecah menjadi unit yang lebih kecil sebagai contoh gula / monosakarida, asam amino, alcohol, fatty acid, dan senyawa organik lain yang lebih sederhana. Reaksi yang terjadi :



2. **Tahap Acidogenesis** ; pada proses ini bakteri acidogenic (bakteri penghasil asam) memecah molekul gula menjadi volatil fatty acid misalnya laktat, butirat, propionate, dan asetat, juga terbentuk karbondioksida,  $NH_3$ ,  $H_2S$  dan  $H_2$  (Grande). Jenis reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut



3. **Tahap Metanogenesis** ; pada proses ini, bakteri mengubah  $H_2$  dan asam asetat menjadi  $CO_2$ ,  $CH_4$  dan air, dan mengubah  $H_2$  dan asam propionat menjadi  $CH_4$  (Yadvika et. al., 2004). Jenis-jenis reaksinya adalah sebagai berikut :

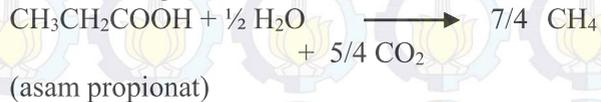
- a. *Hydrogenotrophic metanogens*, proses metanogen yang menggunakan hidrogen dan bereaksi dengan karbon dioksida.



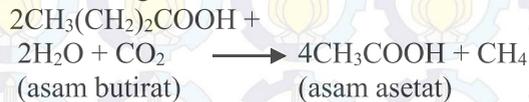
- b. *Acetrophic metanogens*, disebut juga *acetoclastic* atau metanogen yang memecah asam asetat menjadi metana dan CO<sub>2</sub> oleh bakteri.



- c. Pembentukan metana dari asam propionate yang bereaksi dengan air



- d. Proses metanogenesis dengan reaksi antara asam butirat dengan air dan karbondioksida



Pada hasil penelitian ini dapat dibuat hubungan antara beberapa analisa pada penelitian ini, sesuai dengan tahap di atas yaitu tahap hidrolisis, acidogenesis, dan metanogenesis dapat dilihat bahwa :

- Pada variable rumen 5%

Berdasarkan kurva VFAs pada hari ke- 5 Asam organik mulai meningkat secara drastis hal ini menunjukkan tahap acidogenesis mulai terjadi pada hari tersebut. Tahap Hidrolisa diperkirakan terjadi sebelum hari ke-5 dalam tahapan hidrolisis terjadi pemecahan enzimatis dari bahan yang tidak mudah larut seperti lemak, polisakarida, protein, asam nukleat dan lain-lain menjadi bahan yang mudah larut. Protein dihidrolisis menjadi asam-asam amino, karbohidrat menjadi gula-gula sederhana, sedang lemak diurai menjadi asam rantai pendek. Tahap hidrolisis karbohidrat membutuhkan waktu beberapa jam dan untuk hidrolisis protein dan lipid membutuhkan waktu beberapa hari. (Deublein dan Steinhauser ,2008). Setelah hari ke 10 berdasarkan kurva kandungan metana didapat kan bahwa kandungan metana

meningkat terus menerus bahkan hingga hari ke 21 kandungan metana masih belum mencapai fase stasioner hal ini menunjukkan bahwa tahap metanogenesis berlangsung setelah hari ke 10 sampai melebihi hari ke 21. Pada tahap ini bakteri metanogenik mendekomposisikan senyawa dengan berat molekul rendah menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi. Sebagai contoh bakteri ini menggunakan hidrogen, CO<sub>2</sub> dan asam asetat untuk membentuk metana dan CO<sub>2</sub>.

- Pada variable rumen 10%

Pada variable rumen 10% tahap hidrolisis diperkirakan terjadi pada kurang dari 5 hari pertama sama dengan variable 5% dimana pada hari tersebut kandungan metana belum mengalami peningkatan yang besar begitu pula dengan asam organik yang bisa dilihat pada kurva VFAs, asam organik tersebut baru mengalami peningkatan yang besar pada hari ke 5. Berdasarkan kurva VFAs juga tahap asidogenesis merupakan tahap dimana bakteri menghasilkan asam, mengubah senyawa rantai pendek hasil proses pada tahap hidrolisis menjadi asam asetat, hidrogen dan karbondioksida mulai terjadi pada hari ke 5. Setelah hari ke 10 berdasarkan kurva kandungan metana didapat bahwa kandungan metana meningkat terus menerus bahkan hingga hari ke 21 kandungan metana masih belum mencapai fase stasioner hal ini menunjukkan bahwa tahap metanogenesis berlangsung setelah hari ke 10 sampai melebihi hari ke 21. Pada tahap ini bakteri metanogenik mendekomposisikan senyawa dengan berat molekul rendah menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi. Sebagai contoh bakteri ini menggunakan hidrogen, CO<sub>2</sub> dan asam asetat untuk membentuk metana dan CO<sub>2</sub>.

- Pada variable rumen 15%

Sama dengan variable rumen 5% dan 10% Berdasarkan kurva VFAs pada hari ke- 5 Asam organik mulai meningkat secara drastis hal ini menunjukkan tahap asidogenesis mulai terjadi pada hari tersebut. Tahap Hidrolisa diperkirakan terjadi

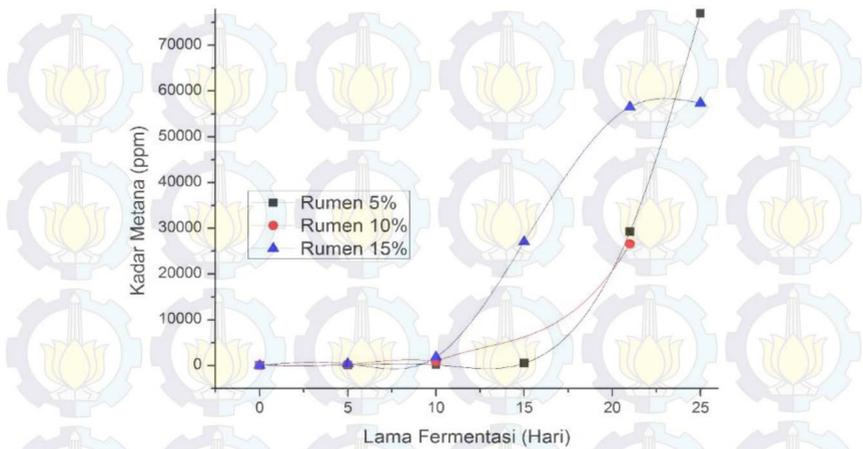
sebelum hari ke-5 dalam tahapan hidrolisis terjadi pemecahan enzimatis dari bahan yang tidak mudah larut seperti lemak, polisakarida, protein, asam nukleat dan lain-lain menjadi bahan yang mudah larut. Protein dihidrolisis menjadi asam-asam amino, karbohidrat menjadi gula-gula sederhana, sedang lemak diurai menjadi asam rantai pendek. Tahap hidrolisis karbohidrat membutuhkan waktu beberapa jam dan untuk hidrolisis protein dan lipid membutuhkan waktu beberapa hari. (Deublein dan Steinhäuser, 2008). Setelah hari ke 10 berdasarkan kurva kandungan metana didapat bahwa kandungan metana meningkat terus menerus hingga hari ke 21 setelah hari ke 21 kandungan metana mulai mengalami fase stasioner hal ini menunjukkan bahwa tahap metanogenesis berlangsung setelah hari ke 10 sampai hari ke 21 karena setelah hari ke 21 kandungan metana yang dihasilkan mulai mengalami penurunan. Pada tahap ini bakteri metanogenik mendekomposisikan senyawa dengan berat molekul rendah menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi. Sebagai contoh bakteri ini menggunakan hidrogen,  $\text{CO}_2$  dan asam asetat untuk membentuk metana dan  $\text{CO}_2$ .

Produksi metan ini dipengaruhi oleh pertumbuhan bakteri metanogenik yang mengubah asam volatil menjadi metan dan  $\text{CO}_2$  dan produk lain (Shuler dan Kargi, 2002; Polprasert, 1995), sehingga laju pembentukan metan seiring dengan laju pertumbuhan bakteri metanogenik.

Energi yang terkandung dalam gas bio tergantung dari konsentrasi metan ( $\text{CH}_4$ ). Semakin tinggi kandungan metan maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metan semakin kecil nilai kalor (Pambudi, 2008).

Biogas yang dihasilkan pada penelitian ini diindikasikan dengan turunnya kadar COD selama proses. Semakin banyak penurunan kadar COD, maka volum biogas yang dihasilkan semakin banyak. (Nkemka, 20115).

Hasil analisa Gas metana dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



**Gambar IV-12** Grafik kandungan Methane

Dari grafik dapat dilihat bahwa kandungan gas methane semakin hari semakin naik, hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu fermentasi, maka konsentrasi metana akan terus naik sampai memasuki fase stasioner (M. Cater dkk, 2015). Seperti pada Grafik di bawah ini, yang menjelaskan estimasi produksi metana sepanjang waktu.

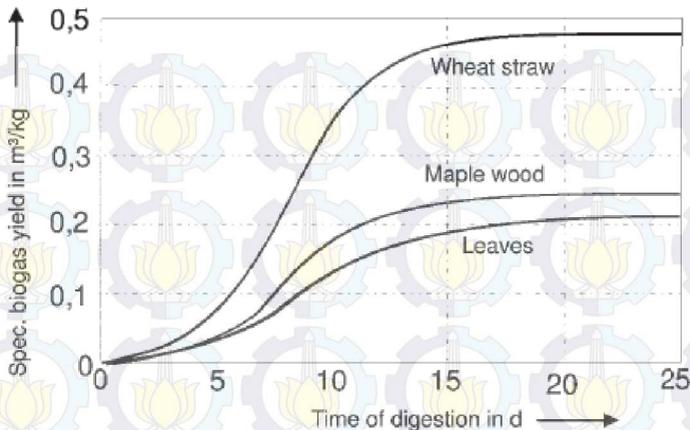
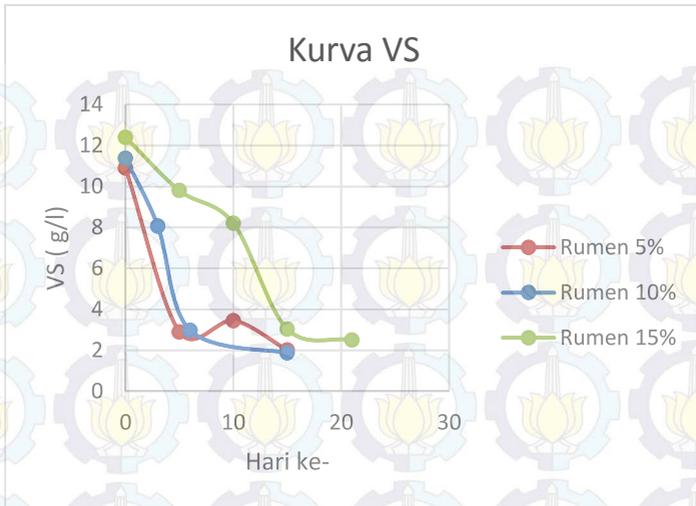


Figure 2.7 Biogas yield in relation to the type of cellulose biomass.<sup>49)</sup>

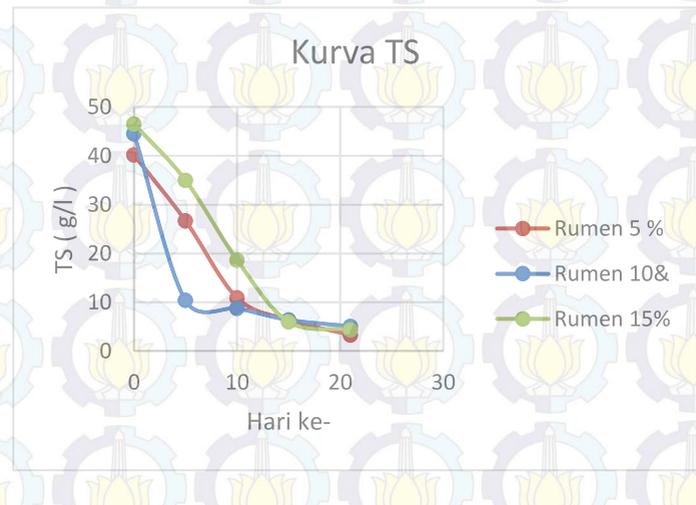
**Gambar IV-13.** Grafik Yield Biogas vs waktu fermentasi ( Deublin, 2008 )

#### IV.5 Pengaruh VS (Volatile Solid) dan TS (Total Solid)

Jumlah TS biasanya direpresentasikan dalam % TS bahan baku organik. *Volatile solid* (VS) merupakan materi organik atau padatan organik yang menguap pada proses pembakaran diatas 500°C. Analisa VS ini perlu dilakukan untuk mengetahui banyaknya materi organik yang bisa menguap. Materi organik inilah yang akan dikonversikan menjadi biogas oleh bakteri metana., jumlah VS biasanya direpresentasikan dalam % VS. Hasil pengujian VS dan TS dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



**Gambar IV-13.** Grafik Volatile Solid



**Gambar IV-14.** Grafik Total Solid

Nilai padatan total (TS) cenderung mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena bahan organik mengalami degradasi pada saat hidrolisis. Sedangkan nilai padatan volatile (VS) juga cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan bahan organik yang sudah ada mengalami reaksi hidrolisis hingga reaksi metanogenesis. (Herawati, 2003).

#### **IV.6 Koefisien Perpindahan Massa Pada Proses Fermentasi Anaerobik**

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui koefisien perpindahan massa  $\text{CH}_4$  dari liquid ke gas. Analisa dilakukan dengan cara menghitung oksigen yang terlarut menggunakan DO meter.  $\text{CH}_4$  merupakan gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah sama halnya dengan  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ . Analisa dilakukan dengan menggunakan oksigen dikarenakan oksigen merupakan gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah, yang mana sama dengan kelarutan  $\text{CH}_4$ . Sehingga, dianalogikan dengan menggunakan gas  $\text{O}_2$  (Andre, 1990).

Dalam hal ini dapat menggunakan gas oksigen untuk menghitung  $k_L a$  metana agar pengukurannya lebih mudah. Gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah terdiri dari gas  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , dan  $\text{H}_2$ . Oleh karena itu pengukuran dalam penelitian ini dapat menggunakan oksigen karena merupakan gas yang memiliki tingkat kelarutan yang rendah, jadi sifat fisik yang dimiliki sama. Pengukuran menggunakan oksigen diperbolehkan karena merupakan prosedur yang paling sederhana.  $K_L a$  nilainya sebanding dengan nilai akar dari diffusivitasnya. Sehingga, untuk menghitung  $K_L a$  dari metana dapat dihitung berdasarkan  $k_L a$  oksigen ( $\text{O}_2$ ) (Beckers, 2015).

Sifat – sifat liquida seperti densitas, tegangan permukaan dan difusitas, kecepatan pengadukan serta viskositas. Semua faktor – faktor tersebut akan mempengaruhi koefisien perpindahan massa. Hasil analisa dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

**Tabel. IV-1.** Tabel K<sub>La</sub> CH<sub>4</sub> tiap variabel rumen dan RPM

Volume rumen	Viskositas $\mu$ (Cst)	k <sub>La</sub> CH <sub>4</sub> /jam		
		0 RPM	10 RPM	30 RPM
5%	7.69375	5.406	5.556	5.181
10%	7.65	4.205	5.481	5.706
15%	7.65625	5.481	5.631	6.157

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa untuk variabel RPM semakin tinggi RPM maka K<sub>La</sub> juga semakin tinggi pula. Hal ini berdasarkan literature bahwa Semakin besar kecepatan rotasi (rpm) sampai kecepatan rotasi critical maka semakin besar pula koefisien transfer massanya. Apabila kecepatan rotasi sudah melebihi kecepatan rotasi critical maka koefisien transfer massanya akan mulai menurun (Francesca,2013). Selain itu pada variable volume rumen yang digunakan menunjukkan perbedaan viskositas perbandingan nilai viskositas yang semakin besar volume rumen maka semakin kecil viskositasnya. Menurut Francesca,2013 menyatakan bahwa semakin kecil nilai viskositas maka semakin besar koefisien transfer massanya.

Koefisien perpindahan massa volumetrik, k<sub>L</sub> a, dipengaruhi oleh variabel-variabel bilangan Reynolds, bilangan Schmidt. Koefisien perpindahan massa umumnya dinyatakan dalam bentuk bilangan Sherwood. Korelasi empirik bilangan Sherwood melibatkan bilangan Reynold dan bilangan Schmidt. Dari hasil perhitungan didapatkan error sebesar 0,82 yang mana perhitungan terlampir pada appendiks.

**Tabel IV-2** Tabel kandungan metana vs  $k_L a$   $CH_4$

Volume Rumen	$k_L a$ $CH_4$	Metana (ppm)
5%	5.406	29215.20
10%	4.2	26555
15%	5.481	56484.00

Setelah didapatkan perhitungan nilai  $k_L a$   $CH_4$ , apabila dihubungkan dengan kandungan gas metana yang didapatkan, dapat diketahui bahwa koefisien perpindahan massa ( $k_L a$ )  $CH_4$  yang tinggi, didapatkan kandungan gas metana yang tinggi pula, hal ini disebabkan karena proses transfer massa  $CH_4$  yang terlarut pada liquid ke gas terjadi lebih cepat.

Dari hasil perhitungan didapatkan untuk nilai  $k_L a$  variable volume rumen 5% sebesar 5,406/jam dengan kandungan gas metana terbesar sebesar 29215,20 ppm. Untuk variabel volume 10% sebesar 4,205/jam dengan kandungan metana terbesar sebesar 26555 ppm. Sedangkan untuk variable volume 15% sebesar 5.481/jam dengan kandungan metana 56484 ppm. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa hasil  $k_L a$   $CH_4$  sebanding dengan hasil metana yang didapat. Sehingga, dapat diketahui bahwa koefisien perpindahan massa  $CH_4$  dari  $CH_4$  yang terlarut pada liquid ke gas terjadi lebih cepat. Menurut Andre Pauss, 1990 didapatkan juga nilai koefisien perpindahan massa yang sebanding dengan kandungan metana yang dihasilkan, pada percobaan batch didapatkan antara lain  $k_L a$  sebesar 0.018/ jam dengan kandungan metana sebesar 8000 ppm serta pada  $k_L a$  sebesar 0.02/jam dengan kandungan metana sebesar 9300 ppm. Dari penelitian (Andre Pauss, 1990) tersebut dapat dilihat bahwa kandungan metana yang terbesar didapatkan dari nilai  $k_L a$  yang besar pula.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

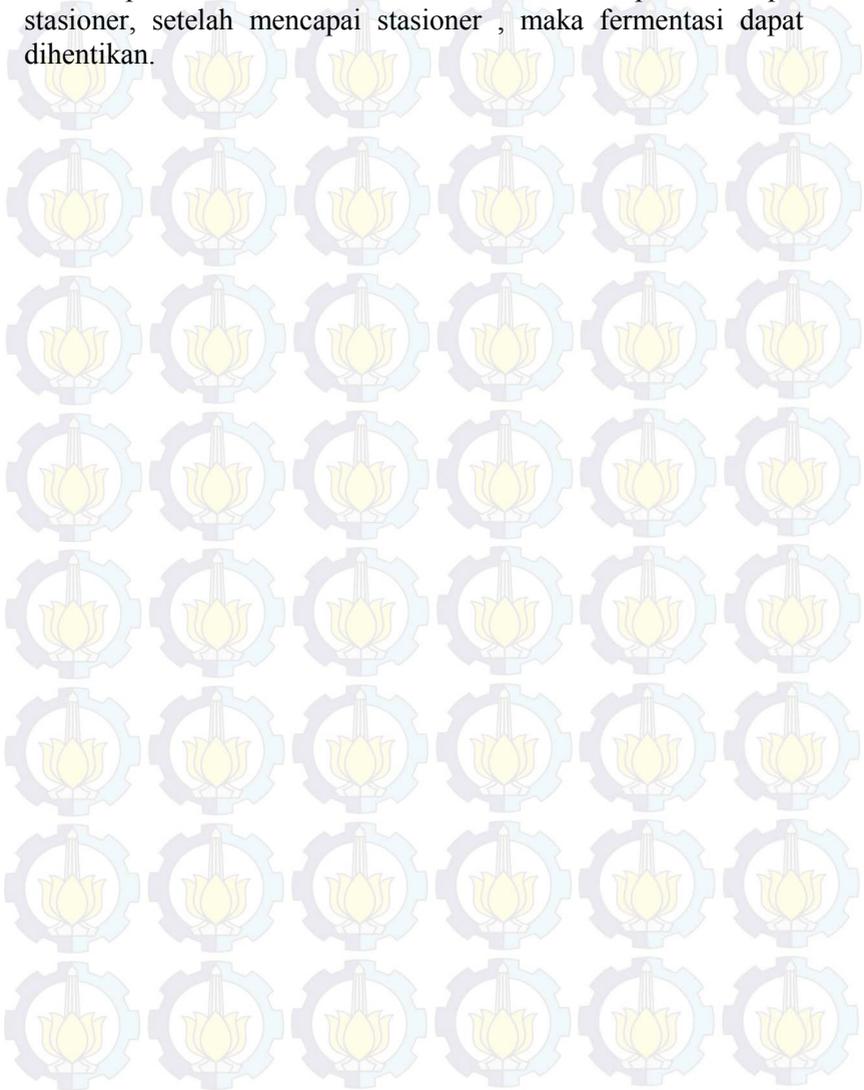
Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Memproduksi Metana dari jerami padi dengan mikroorganisme cairan rumen didapatkan hasil metana tertinggi pada hari ke-21. Untuk variabel 5% sebesar 29215,2 ppm, variabel 10% sebesar 26555 ppm, dan untuk variabel 15% sebesar 56484 ppm.
2. Pengaruh mikroorganisme cairan rumen pada fermentasi anaerobic dipengaruhi :
  - a. Semakin besar penurunan kadar COD, maka volume biogas yang dihasilkan juga semakin banyak. Penurunan kadar COD yang paling besar pada penelitian ini dicapai pada waktu (hari) ke-21 yaitu sebesar 7200 mg/l untuk variable 5%; 4800 mg/l untuk variable 10%; dan 3600 mg/l untuk variable 15%.
  - b. Semakin tinggi VFas maka semakin tinggi metana yang dihasilkan.
  - c. Nilai padatan total (TS) cenderung mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena bahan organik mengalami degradasi pada saat hidrolisis. Sedangkan nilai padatan volatile (VS) juga cenderung mengalami penurunan.
3. Koefisien perpindahan massa ( $k_L a$ )  $CH_4$  sebanding dengan hasil metana yang didapat. Sehingga, dapat diketahui bahwa koefisien perpindahan massa  $CH_4$  dari  $CH_4$  yang terlarut pada liquid ke gas terjadi lebih cepat.

#### **V.2 Saran**

Sebaiknya fermentasi tetap dilanjutkan setelah hari ke-21 sampai gas metana mencapai grafik stasioner. Karena menurut literatur (M Cater et al,2015) dan (Dieter Deublin et al,2008),

kurva konsentrasi metana vs Waktu fermentasi yang terjadi selama proses fermentasi akan terus naik sampai mencapai stasioner, setelah mencapai stasioner , maka fermentasi dapat dihentikan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Baba, Y., Tada, C., Fukuda, Y., Nakai, Y., 2013, "Improvement of Methane Production from Waste Paper by Pretreatment of Rumen Fluid", *Bioresource Technology*, Vol. 128, Hal. 94-99
- Brock, T.D., Madigan. 1991. "Biology of Microorganisms 6<sup>th</sup> .. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey
- Corro, G., Panigua, L., Pal, U., Banuelos, F., Rosas, M., 2013, "Generation of Biogas from Coffee Pulp and Cow-Dung Co-Digestion: Infrared studies of postcombustion emission", *Energy Conversion and Management*, Vol. 74, hal. 471-481.
- Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S., 2008, "Inhibition of Anaerobic Digestion Process : A Review", *Bioresource Technology*, Vol. 99, Hal. 4044 - 4064
- Deublein D., Steinhauser A., 2008, "Biogas from Waste and Renewable Sources: An Introduction", *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*, Weinheim
- Hungate, R.E., 1966, "The Rumen and Its Microbes", Academic Press, New York and London.
- Hu Z.H., Yu H.Q., 2006, "Anaerobic Digestion of Cattail by Rumen Cultures", *Waste Management*, Vol 26. Hal. 1222-1228.
- Kivaisi, A.K. and S. Eliapenda. 1995. "Application of Rumen Microorganism for Enhanced Anaerobic Degradation of Bagasse and Maize Bran". *Biomass and Bioenergy*. B(1):45-50
- Nkemka, N.V., Brandon G. 2015. "Bioaugmentation with an Anaerobic Fungus in a Two-Stage Process for Biohydrogen and Biogas Production using Corn Silage and Cattail". *Bioresource Technology*, 185, 79-88
- Pauss A., Gerald A. 1990. "Liquid to Gas Mass Transfer in Anaerobic Process: Inevitable Transfer Limitations of

Methane and Hydrogen in the Biomethanation Process". Applied And Environmental Microbiology, Vol 56

Sitorus, T.F., 2002, "Peningkatan Nilai Nutrisi Jerami Padi dengan Fermentasi Ragi Isi Rumen", Program Studi Magister Ilmu Ternak Program Pasca Sarjana Fakultas Peternakan Universitas Diponegoro, Semarang.

Shuler, M.L. and F.Kargi. 2002. "Bioprocess Engineering 2<sup>nd</sup> ed". Prentice-Hall, Inc. USA

Takeneka, A., 2008, "The Properties of Rumen Microorganism And Their Contribution to Methane Production", *National Institute of Livestock and Grassland Science*, Japan

Ueno, Y., Tatara, M., Fukui, H., Makiuchi, T., Gotto, M., Sode, K., 2007, "Production of Hydrogen and Methane from Organic Solid Wastes by phase-separation of anaerobic process", *Bioresources Technology*, Vol 98, Hal 1861-1865

Underwood, A.L., 2001, "Analisa Kimia Kuantitatif", PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta

Vartak, D.R., Angler, C.R., Ricke, S.C., McFarland, M.J., 1997a, "Organic Loading Rate and Bio-Augmentation Effects in Psychrophilic Anaerobic Digestion of Dairy Manure, In: ASAE Annual International Meeting, Minneapolis, Minnesota, USA, 10-14 August, Pepr-American Society of Agricultural Engineers.

Widjaya, A., 2009, "Aplikasi Bioteknologi pada Industri Pulp dan Kertas", ITS Press, Surabaya

Yadvika, Santosh, Sreekishnan T.R., Kohli, S., Rana, V., 2004, "Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Technique-A Review", *Bioresource Technology*, Vol 95, Hal 1-10.

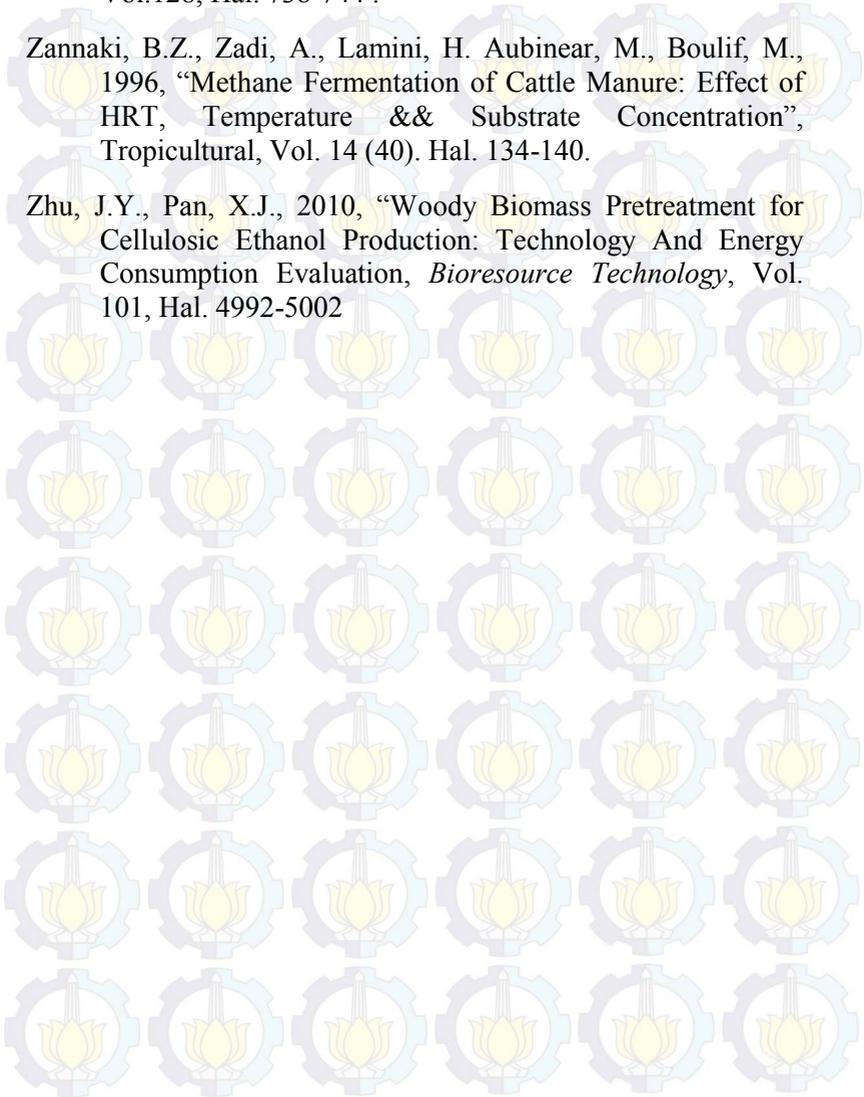
Yuniarta, D.V., Reapradana, Y., 2007, "Upaya Peningkatan Produksi Biogas", Skripsi, Jurusan Teknik Kimia, FTI-ITS

Yue, Z. B., Li W.W., Yu H.Q., 2013, "Application of Rumen Microorganism for Anaerobic Bioconversion of

Lignocellulosic Biomass”, *Bioresource Technology*, Vol.128, Hal. 738-744 .

Zannaki, B.Z., Zadi, A., Lamini, H. Aubinear, M., Boulif, M., 1996, “Methane Fermentation of Cattle Manure: Effect of HRT, Temperature && Substrate Concentration”, *Tropicultural*, Vol. 14 (40). Hal. 134-140.

Zhu, J.Y., Pan, X.J., 2010, “Woody Biomass Pretreatment for Cellulosic Ethanol Production: Technology And Energy Consumption Evaluation, *Bioresource Technology*, Vol. 101, Hal. 4992-5002



# APPENDIKS

## A.1 Perhitungan Analisa COD

- I. Pembuatan larutan pereaksi
  - a. Pembuatan Standar primer  $K_2Cr_2O_7$  0.05 N  
Larutkan 0.6129 gram  $K_2Cr_2O_7$  anhidrous dalam labu ukur hingga volumenya 250 ml.
  - b. Larutan Standar Ferro Aluminium 0.05 N  
Larutkan 9.8035 gram FAS dalam 10 ml  $H_2SO_4$  pekat, kemudian tambahkan aquadest hingga volumenya 500 ml.
  - c. Larutan Katalis  
Tambahkan 5.0551 gram  $Ag_2SO_4$  ke dalam 500 ml  $H_2SO_4$  pekat, atau 1.375 gram  $Ag_2SO_4$  ke dalam 0.25 kg  $H_2SO_4$  pekat. Biarkan 1-2 hari untuk melarutkan  $Ag_2SO_4$
- II. Prosedur Analisis COD
  - a. Pipet 10 ml sampel ( dengan pengenceran 50x)
  - b. Tambahkan  $Hg_2SO_4$  sebesar 0.5 gram
  - c. Tambahkan 15 ml Larutan katalis dan larutan standar primer  $K_2Cr_2O_7$  5 ml.
  - d. Masukkan batu didih, kemudian panaskan hingga 2 jam
  - e. Dinginkan terlebih dahulu, lalu tambahkan 2-4 tetes indicator ferroin
  - f. Titrasi larutan sample dengan larutan standar FAS sampai terjadi perubahan warna dari biru kekuningan menjadi cokelat
  - g. Perhitungan

$$COD \text{ (mg / L. O}_2\text{)} = \frac{(A - B) \times N \text{ FAS} \times 8000}{V \text{ sampel}}$$

Tabel. A.1 Data Analisa COD pada variable Rumen 5%

Hari ke	a(ml FAS blanko)	b(ml FAS sample)	N(N FAS)	ml sample	COD	COD (mg/l)
0	9	3.7	0.1	10	424	21200
7	9	5.5	0.1	10	280	14000
15	9	7.2	0.1	10	144	7200
21	9	8	0.1	10	80	4000

Tabel. A.2 Data Analisa COD pada variable Rumen 10%

Hari ke	a(ml FAS blanko)	b(ml FAS sample)	N(N FAS)	ml sample	COD	COD (mg/l)
0	9	3.5	0.1	10	440	22000
7	9	5.2	0.1	10	304	15200
15	9	7.8	0.1	10	96	4800
21	9	8.3	0.1	10	56	2800

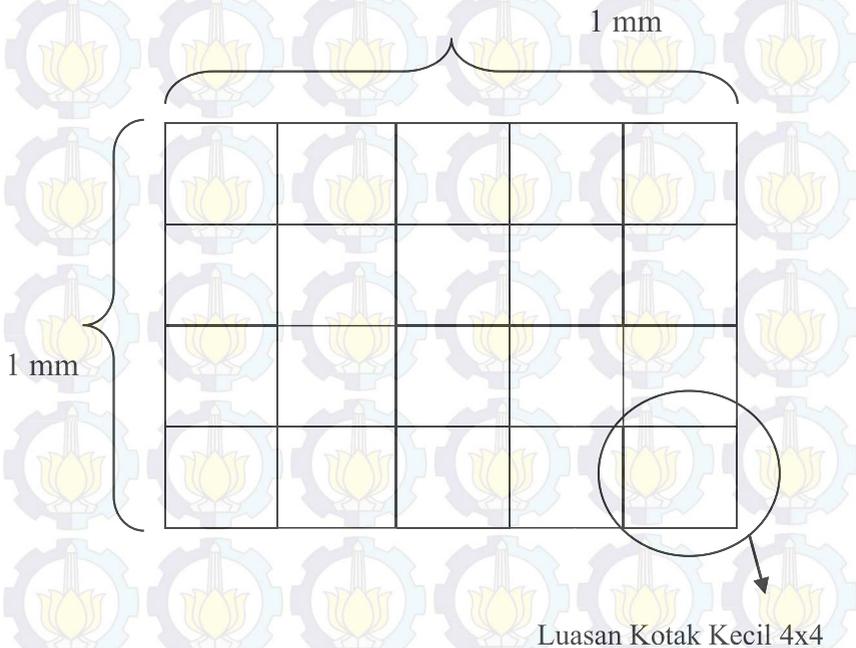
Tabel. A.3 Data Analisa COD pada variable Rumen 15%

Hari ke	a(ml FAS blanko)	b(ml FAS sample)	N(N FAS)	ml sample	COD	COD (mg/l)
0	9	3.5	0.1	10	440	22000
7	9	5.1	0.1	10	312	15600
15	9	8.1	0.1	10	72	3600
21	9	8.5	0.1	10	40	2000

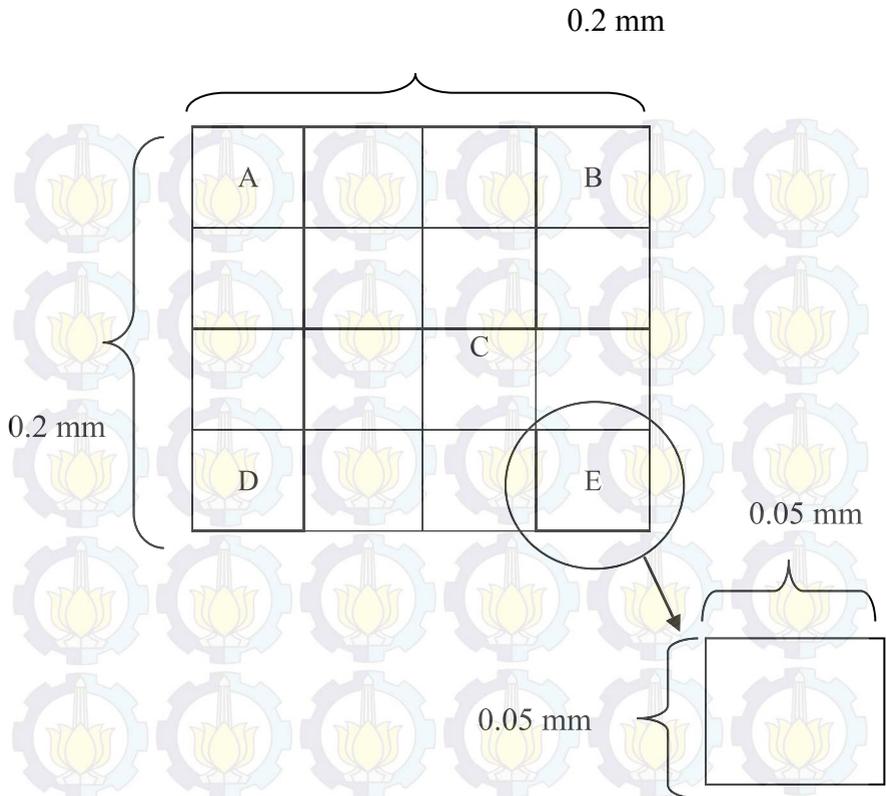
## A.2 Perhitungan Jumlah sel

Menghitung jumlah sel dengan menggunakan Haemocytometer pada saat proses fermentasi anaerobic untuk mengetahui pertumbuhan mikroorganismenya

Diambil sampel secukupnya dengan menggunakan pipet tetes dan diletakkan pada tepi kaca tutup, maka dengan sendirinya tetesan tersebut akan mengalir ke bawah kaca tutup dan mengisi ruang hitung. Jika jumlah sel dalam 1 persegi kecil lebih dari 10 sel dan dalam 1 persegi besar lebih dari 100 sel, maka sampel perlu diencerkan kembali. Letakkan haemocytometer pada meja objek mikroskop. Tetapkan 5 titik dari 16 kotak terkecil pada haemocytometer seperti Gambar A.2. Luasan haemocytometer terdiri dari kotak 5x5, dimana setiap 1 kotak besar terdapat satu kotak kecil terdapat luasan kotak 4x4.



**Gambar A.1** Luasankotak pada hemasitometer



**Gambar A.2** Penentuan titik hitung kotak kecil pada hemasitometer

Jumlah sel pada 5 titik dicatat dan diulangi hingga 3 kali. Hasil perhitungan jumlah sel setiap titiknya di rata – rata. Kemudian jumlah sel/mL dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah sel/mL} = \frac{(\text{Jumlah sel rata-rata})}{0,002 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times \text{faktor pengenceran}$$

Data :

Faktor pengenceran : 10 kali

Sisi kotak kecil = 0.05 mm

Tebal Hemasitometer = 0.1 mm

Contoh perhitungan :

$$\text{Jumlah sel/mL} = \frac{1.1}{0,002 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times 10 = 44000000 \text{ sel/ml}$$

Tabel. A.4 Data Analisa counting chamber pada variable Rumen 5%

Hari ke-	A			B			C			D			E		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	1	1	2	2
9	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1
12	2	3	2	3	3	1	3	1	3	2	3	3	2	3	3
15	3	5	4	4	5	5	5	4	3	5	3	3	3	3	4
18	5	4	5	4	4	5	5	6	5	5	5	3	4	5	5
21	6	3	3	4	3	4	3	4	5	3	4	4	4	5	3

Tabel. A.5 Data Analisa counting chamber pada variable Rumen 10%

Hari ke-	A			B			C			D			E		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
7	1	1	2	2	1	1	0	1	1	2	0	1	1	2	1
9	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1
12	2	2	1	2	3	2	3	3	1	3	3	3	3	3	2
15	2	3	7	4	2	4	3	5	2	6	5	3	7	5	3
18	4	5	3	4	5	3	3	6	5	7	4	2	6	4	4
21	3	3	2	3	6	5	7	4	3	3	4	5	2	5	5

Tabel. A.6 Data Analisa counting chamber pada variable Rumen  
15%

Hari ke-	A			B			C			D			E		
1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
7	3	2	3	3	3	1	3	2	3	3	3	2	1	1	2
9	3	3	4	4	4	2	3	3	2	3	3	3	3	2	3
12	4	3	3	5	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4	3
15	6	5	5	7	6	8	6	6	7	7	4	7	7	6	6
18	7	6	7	7	8	6	7	7	8	8	7	6	8	6	7
21	6	5	6	5	5	7	5	5	5	6	6	5	4	6	6

### A.3 Perhitungan VS, TS

Cawan penguap dipanaskan selama 2 jam pada suhu 130°C, kemudian dinginkan didalam desikator, setelah dingin cawan kosong ditimbang. sebanyak 10 ml sampel dimasukkan ke dalam cawan yang telah ditimbang sebelumnya kemudian ditimbang kembali. cawan berisi sampel dimasukkan ke dalam oven kemudian dipanaskan selama 4 jam pada suhu 130°C untuk menghilangkan kadar airnya. setelah cawan didinginkan, kemudian ditimbang kembali sampai beratnya tetap.

$$\text{Total Solid} = a \times (1000/v)$$

Contoh perhitungan

$$\text{Total Solid} = 0.4458 \times (1000/10)$$

$$\text{Total solid} = 44.58 \text{ mg/l}$$

Cawan berisi sampel yang telah ditimbang TS-nya kemudian dipanaskan kembali di dalam *muffle furnace* pada suhu 700°C selama 3 jam. Setelah itu cawan penguap didinginkan hingga mencapai suhu kamar dan ditimbang kembali beratnya.

$$\text{Ash [g/l]} = a \times (1000/v)$$

a = perbedaan berat dari cawan penguap setelah dipanaskan pada suhu 700°C dengan berat cawan kosong.

v = volume sampel.

$$VS \text{ [g/l]} = TS \text{ [g/l]} - \text{Ash [g/l]}$$

Contoh perhitungan

$$\text{Ash [g/l]} = 0.332 \times (1000/10)$$

$$\text{Ash [g/l]} = 33.2 \text{ g/l}$$

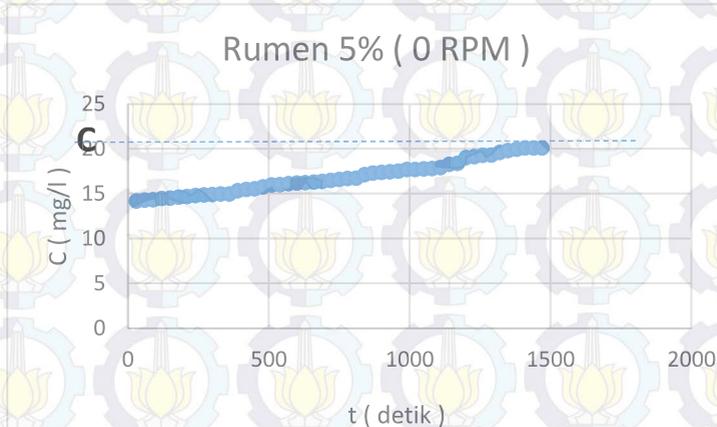
$$VS \text{ [g/l]} = TS \text{ [g/l]} - \text{Ash [g/l]}$$

$$VS \text{ [g/l]} = 44.58 \text{ [g/l]} - 33.2 \text{ [g/l]}$$

$$VS \text{ [g/l]} = 11.38 \text{ g/l}$$

#### A.4 Menghitung $k_L a$ $\text{CH}_4$ pada Proses Fermentasi Anaerobic

Dari hasil percobaan didapatkan konsentrasi larutan dan konsentrasi jenuh larutan. Kemudian di plot antara konsentrasi larutan ( C ) dengan waktu .



**Gambar A.1.** Grafik Konsentrasi ( C ) vs t ( detik ) pada variable rumen 5% volume tanpa pengaduk

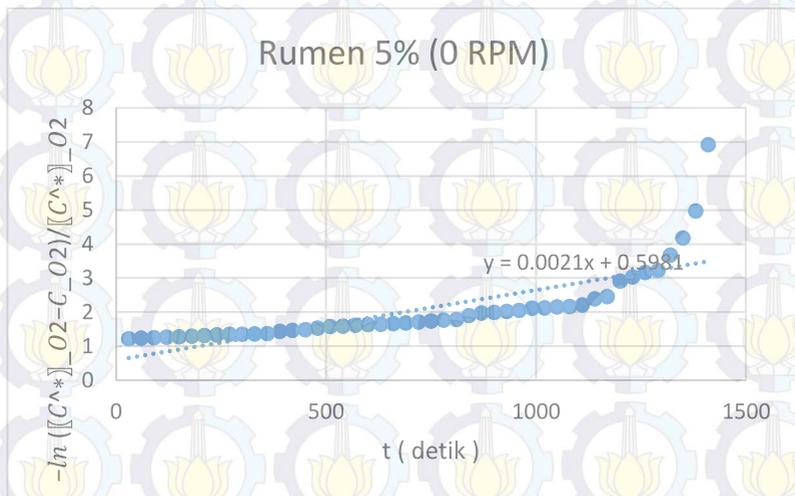
Dari persamaan rumus koefisien perpindahan massa dapat diturunkan sebagai berikut :

$$V \frac{dC_{O_2}}{dt} = k_L a V (C^*_{O_2} - C_{O_2})$$

$$\int \frac{dC_{O_2}}{C^*_{O_2} - C_{O_2}} = \int k_L a dt$$

$$-\ln \frac{C^*_{O_2} - C_{O_2}}{C^*_{O_2}} = k_L a t \dots (1)$$

Dari persamaan 1 dibuat plot dengan sumbu x =  $-\ln \frac{C^*_{O_2} - C_{O_2}}{C^*_{O_2}}$ ,  
 dan sumbu y = t ( detik )  
 Sehingga didapatkan slope =  $k_L a$



Gambar A.2. Grafik  $-\ln (C^*_{O_2}-C_{O_2})/C^*_{O_2}$  vs t ( detik ) pada variable rumen 5% volume tanpa pengaduk

Dari grafik didapatkan slope =  $k_L a_{O_2}$

Untuk mendapatkan  $k_L a_{CH_4}$

$$\frac{k_L a_{O_2}}{k_L a_{CH_4}} = \left( \frac{D_{O_2-w}}{D_{CH_4-w}} \right)^{0.5}$$

Diketahui :  $D_{O_2-w} = 2.5 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$  ..... ( Perry, 3-259 )

$D_{CH_4-w} = 1.99 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$  ..... ( Springer,method:DIA )

Didapatkan hasil :

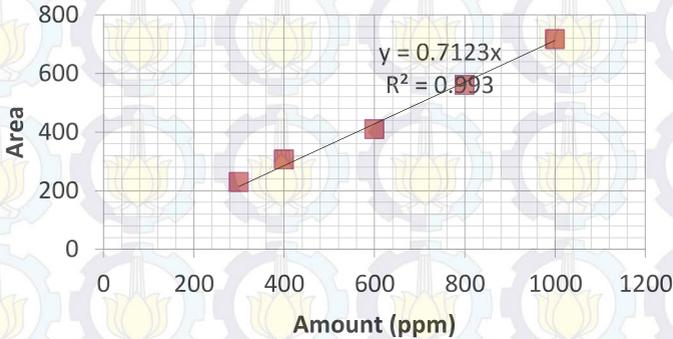
Volume rumen	$\mu$ (Cst)	kLa ( h <sup>-1</sup> )		
		0	10	30
5%	7.5625	5.406	5.556	5.181
10%	7.69375	4.205	5.481	5.706
15%	7.9375	5.481	5.631	6.607

## A.5 Perhitungan Analisa GC Gas Metana

1. Memplot kurva standart CH<sub>4</sub>

Amount(ppm_	area
300	228.94
400	305.81
600	409.21
800	561.55
1000	716.89

## Kurva Standar Metana



Misal :

Menghitung metana variabel rumen 5%

Untuk hari ke -5 didapatkan :  $\text{Area}(y) = 42.65733$

Dari grafik didapatkan persamaan kurva standart :  $y = 0.7123x$

Sehingga untuk menghitung konsentrasi metana (ppm) :

$$Y = 0.7123x$$

$$42.65733 = 0.7123x$$

$$x = 42.65733 : 0.7123$$

$$x = 49.06925 \text{ ppm}$$

jadi, didapatkan kandungan metana sebesar 49.06925 ppm.

# APPENDIKS

## A.1 Perhitungan Analisa COD

- I. Pembuatan larutan pereaksi
  - a. Pembuatan Standar primer  $K_2Cr_2O_7$  0.05 N  
Larutkan 0.6129 gram  $K_2Cr_2O_7$  anhidrous dalam labu ukur hingga volumenya 250 ml.
  - b. Larutan Standar Ferro Aluminium 0.05 N  
Larutkan 9.8035 gram FAS dalam 10 ml  $H_2SO_4$  pekat, kemudian tambahkan aquadest hingga volumenya 500 ml.
  - c. Larutan Katalis  
Tambahkan 5.0551 gram  $Ag_2SO_4$  ke dalam 500 ml  $H_2SO_4$  pekat, atau 1.375 gram  $Ag_2SO_4$  ke dalam 0.25 kg  $H_2SO_4$  pekat. Biarkan 1-2 hari untuk melarutkan  $Ag_2SO_4$
- II. Prosedur Analisis COD
  - a. Pipet 10 ml sampel ( dengan pengenceran 50x)
  - b. Tambahkan  $Hg_2SO_4$  sebesar 0.5 gram
  - c. Tambahkan 15 ml Larutan katalis dan larutan standar primer  $K_2Cr_2O_7$  5 ml.
  - d. Masukkan batu didih, kemudian panaskan hingga 2 jam
  - e. Dinginkan terlebih dahulu, lalu tambahkan 2-4 tetes indicator ferroin
  - f. Titrasi larutan sample dengan larutan standar FAS sampai terjadi perubahan warna dari biru kekuningan menjadi cokelat
  - g. Perhitungan

$$\text{COD (mg / L. O}_2\text{)} = \frac{(A - B) \times N \text{ FAS} \times 8000}{V \text{ sampel}}$$

Tabel. A.1 Data Analisa COD pada variable Rumen 5%

Hari ke	a(ml FAS blanko)	b(ml FAS sample)	N(N FAS)	ml sample	COD	COD (mg/l)
0	9	3.7	0.1	10	424	21200
7	9	5.5	0.1	10	280	14000
15	9	7.2	0.1	10	144	7200
21	9	8	0.1	10	80	4000

Tabel. A.2 Data Analisa COD pada variable Rumen 10%

Hari ke	a(ml FAS blanko)	b(ml FAS sample)	N(N FAS)	ml sample	COD	COD (mg/l)
0	9	3.5	0.1	10	440	22000
7	9	5.2	0.1	10	304	15200
15	9	7.8	0.1	10	96	4800
21	9	8.3	0.1	10	56	2800

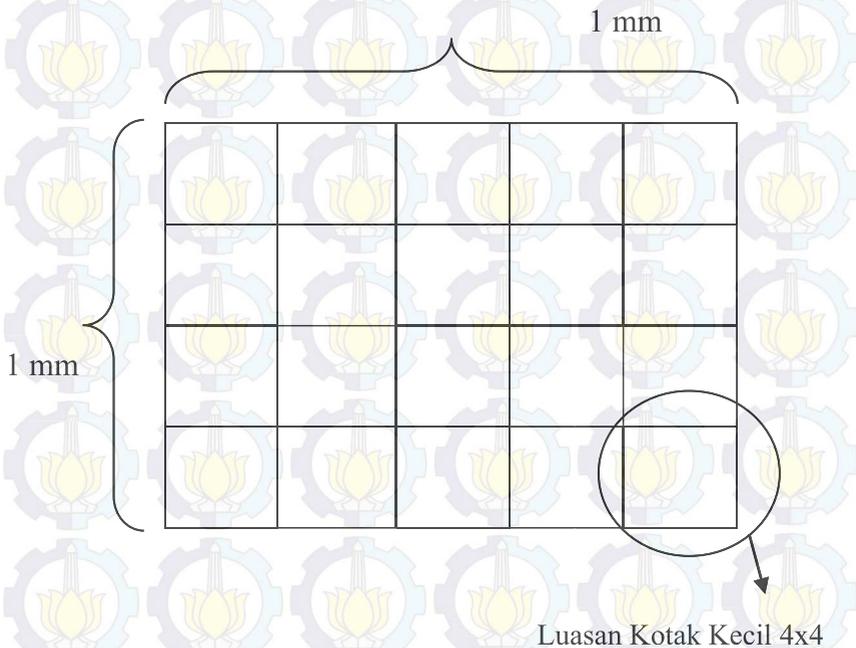
Tabel. A.3 Data Analisa COD pada variable Rumen 15%

Hari ke	a(ml FAS blanko)	b(ml FAS sample)	N(N FAS)	ml sample	COD	COD (mg/l)
0	9	3.5	0.1	10	440	22000
7	9	5.1	0.1	10	312	15600
15	9	8.1	0.1	10	72	3600
21	9	8.5	0.1	10	40	2000

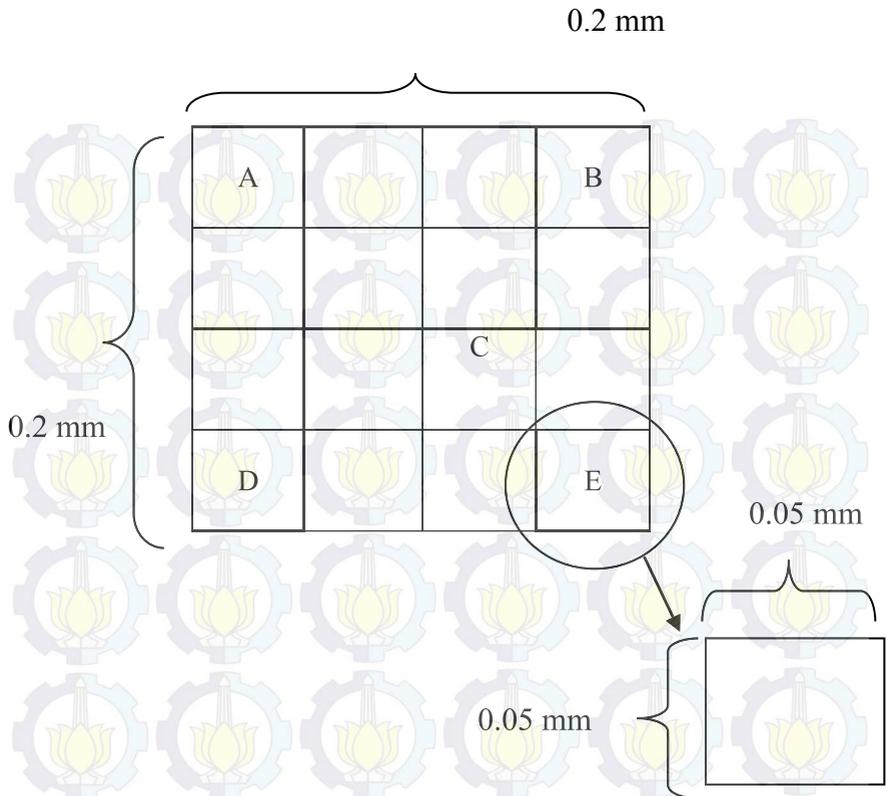
## A.2 Perhitungan Jumlah sel

Menghitung jumlah sel dengan menggunakan Haemocytometer pada saat proses fermentasi anaerobic untuk mengetahui pertumbuhan mikroorganismenya

Diambil sampel secukupnya dengan menggunakan pipet tetes dan diletakkan pada tepi kaca tutup, maka dengan sendirinya tetesan tersebut akan mengalir ke bawah kaca tutup dan mengisi ruang hitung. Jika jumlah sel dalam 1 persegi kecil lebih dari 10 sel dan dalam 1 persegi besar lebih dari 100 sel, maka sampel perlu diencerkan kembali. Letakkan haemocytometer pada meja objek mikroskop. Tetapkan 5 titik dari 16 kotak terkecil pada haemocytometer seperti Gambar A.2. Luasan haemocytometer terdiri dari kotak  $5 \times 5$ , dimana setiap 1 kotak besar terdapat satu kotak kecil terdapat luasan kotak  $4 \times 4$ .



**Gambar A.1** Luasan kotak pada haemocytometer



**Gambar A.2** Penentuan titik hitung kotak kecil pada hemasitometer

Jumlah sel pada 5 titik dicatat dan diulangi hingga 3 kali. Hasil perhitungan jumlah sel setiap titiknya di rata – rata. Kemudian jumlah sel/mL dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah sel/mL} = \frac{(\text{Jumlah sel rata-rata})}{0,002 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times \text{faktor pengenceran}$$

Data :

Faktor pengenceran : 10 kali

Sisi kotak kecil = 0.05 mm

Tebal Hemasitometer = 0.1 mm

Contoh perhitungan :

$$\text{Jumlah sel/mL} = \frac{1.1}{0,002 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times 10 = 44000000 \text{ sel/ml}$$

Tabel. A.4 Data Analisa counting chamber pada variable Rumen 5%

Hari ke-	A			B			C			D			E		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	1	1	2	2
9	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1
12	2	3	2	3	3	1	3	1	3	2	3	3	2	3	3
15	3	5	4	4	5	5	5	4	3	5	3	3	3	3	4
18	5	4	5	4	4	5	5	6	5	5	5	3	4	5	5
21	6	3	3	4	3	4	3	4	5	3	4	4	4	5	3

Tabel. A.5 Data Analisa counting chamber pada variable Rumen 10%

Hari ke-	A			B			C			D			E		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
7	1	1	2	2	1	1	0	1	1	2	0	1	1	2	1
9	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1
12	2	2	1	2	3	2	3	3	1	3	3	3	3	3	2
15	2	3	7	4	2	4	3	5	2	6	5	3	7	5	3
18	4	5	3	4	5	3	3	6	5	7	4	2	6	4	4
21	3	3	2	3	6	5	7	4	3	3	4	5	2	5	5

Tabel. A.6 Data Analisa counting chamber pada variable Rumen  
15%

Hari ke-	A			B			C			D			E		
1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
7	3	2	3	3	3	1	3	2	3	3	3	2	1	1	2
9	3	3	4	4	4	2	3	3	2	3	3	3	3	2	3
12	4	3	3	5	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4	3
15	6	5	5	7	6	8	6	6	7	7	4	7	7	6	6
18	7	6	7	7	8	6	7	7	8	8	7	6	8	6	7
21	6	5	6	5	5	7	5	5	5	6	6	5	4	6	6

### A.3 Perhitungan VS, TS

Cawan penguap dipanaskan selama 2 jam pada suhu 130°C, kemudian dinginkan didalam desikator, setelah dingin cawan kosong ditimbang. sebanyak 10 ml sampel dimasukkan ke dalam cawan yang telah ditimbang sebelumnya kemudian ditimbang kembali. cawan berisi sampel dimasukkan ke dalam oven kemudian dipanaskan selama 4 jam pada suhu 130°C untuk menghilangkan kadar airnya. setelah cawan didinginkan, kemudian ditimbang kembali sampai beratnya tetap.

$$\text{Total Solid} = a \times (1000/v)$$

Contoh perhitungan

$$\text{Total Solid} = 0.4458 \times (1000/10)$$

$$\text{Total solid} = 44.58 \text{ mg/l}$$

Cawan berisi sampel yang telah ditimbang TS-nya kemudian dipanaskan kembali di dalam *muffle furnace* pada suhu 700°C selama 3 jam. Setelah itu cawan penguap didinginkan hingga mencapai suhu kamar dan ditimbang kembali beratnya.

$$\text{Ash [g/l]} = a \times (1000/v)$$

a = perbedaan berat dari cawan penguap setelah dipanaskan pada suhu 700°C dengan berat cawan kosong.

v = volume sampel.

$$VS \text{ [g/l]} = TS \text{ [g/l]} - Ash \text{ [g/l]}$$

Contoh perhitungan

$$Ash \text{ [g/l]} = 0.332 \times (1000/10)$$

$$Ash \text{ [g/l]} = 33.2 \text{ g/l}$$

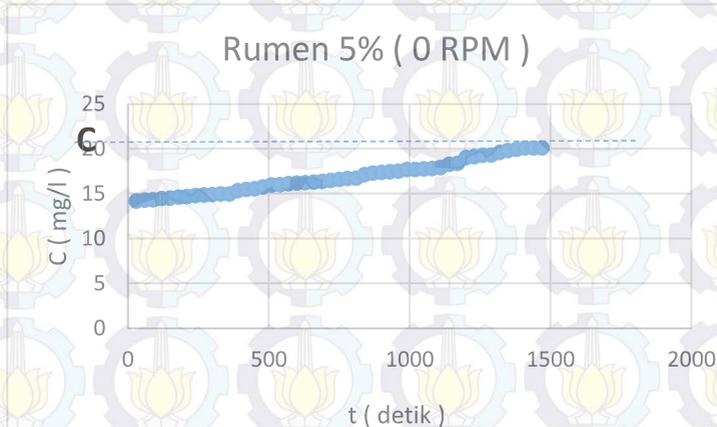
$$VS \text{ [g/l]} = TS \text{ [g/l]} - Ash \text{ [g/l]}$$

$$VS \text{ [g/l]} = 44.58 \text{ [g/l]} - 33.2 \text{ [g/l]}$$

$$VS \text{ [g/l]} = 11.38 \text{ g/l}$$

#### A.4 Menghitung $k_L a$ $CH_4$ pada Proses Fermentasi Anaerobic

Dari hasil percobaan didapatkan konsentrasi larutan dan konsentrasi jenuh larutan. Kemudian di plot antara konsentrasi larutan ( C ) dengan waktu .



**Gambar A.1.** Grafik Konsentrasi ( C ) vs t ( detik ) pada variable rumen 5% volume tanpa pengaduk

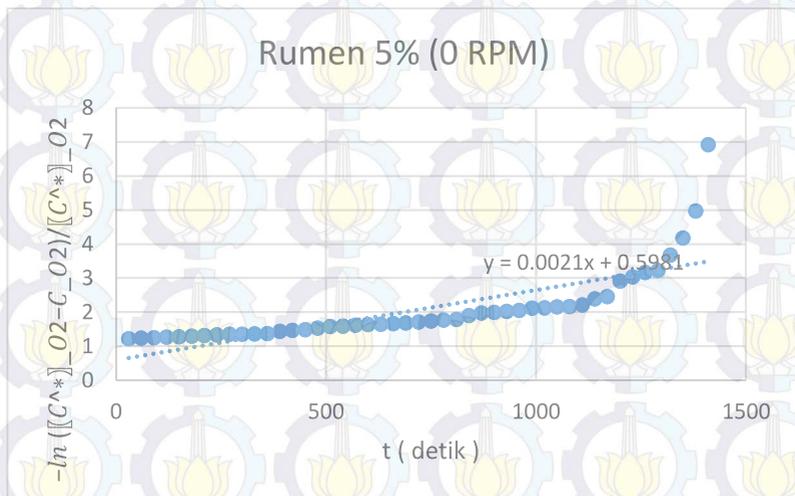
Dari persamaan rumus koefisien perpindahan massa dapat diturunkan sebagai berikut :

$$V \frac{dC_{O_2}}{dt} = k_L a V (C^*_{O_2} - C_{O_2})$$

$$\int \frac{dC_{O_2}}{C^*_{O_2} - C_{O_2}} = \int k_L a dt$$

$$-\ln \frac{C^*_{O_2} - C_{O_2}}{C^*_{O_2}} = k_L a t \dots (1)$$

Dari persamaan 1 dibuat plot dengan sumbu x =  $-\ln \frac{C^*_{O_2} - C_{O_2}}{C^*_{O_2}}$ ,  
 dan sumbu y = t ( detik )  
 Sehingga didapatkan slope =  $k_L a$



Gambar A.2. Grafik  $-\ln (C^*_{O_2}-C_{O_2})/C^*_{O_2}$  vs t ( detik ) pada variable rumen 5% volume tanpa pengaduk

Dari grafik didapatkan slope =  $k_L a_{O_2}$

Untuk mendapatkan  $k_L a_{CH_4}$

$$\frac{k_L a_{O_2}}{k_L a_{CH_4}} = \left( \frac{D_{O_2-w}}{D_{CH_4-w}} \right)^{0.5}$$

Diketahui :  $D_{O_2-w} = 2.5 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$  ..... ( Perry, 3-259 )

$D_{CH_4-w} = 1.99 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$   
.....( Springer,method:DIA )

Didapatkan hasil :

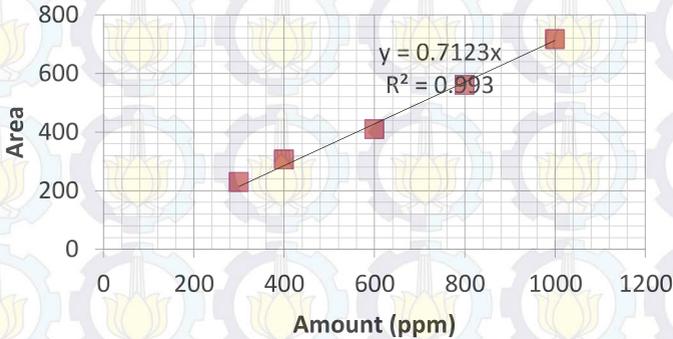
Volume rumen	$\mu$ (Cst)	kLa ( h <sup>-1</sup> )		
		0	10	30
5%	7.5625	5.406	5.556	5.181
10%	7.69375	4.205	5.481	5.706
15%	7.9375	5.481	5.631	6.607

## A.5 Perhitungan Analisa GC Gas Metana

1. Memplot kurva standart CH<sub>4</sub>

Amount(ppm_	area
300	228.94
400	305.81
600	409.21
800	561.55
1000	716.89

## Kurva Standar Metana



Misal :

Menghitung metana variabel rumen 5%

Untuk hari ke -5 didapatkan :  $\text{Area}(y) = 42.65733$

Dari grafik didapatkan persamaan kurva standart :  $y = 0.7123x$

Sehingga untuk menghitung konsentrasi metana (ppm) :

$$Y = 0.7123x$$

$$42.65733 = 0.7123x$$

$$x = 42.65733 : 0.7123$$

$$x = 49.06925 \text{ ppm}$$

jadi, didapatkan kandungan metana sebesar 49.06925 ppm.