

SKRIPSI

**PRODUKSI BIOGAS PADA VARIASI CAMPURAN JERAMI PADI DAN
KOTORAN SAPI MENGGUNAKAN *BATCH REACTOR* DENGAN
*INTERMITTENT MIXING***

Oleh :

MIFTAHUL KHOIR

D021171312



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

SKRIPSI

**PRODUKSI BIOGAS PADA VARIASI CAMPURAN JERAMI PADI DAN
KOTORAN SAPI MENGGUNAKAN *BATCH REACTOR* DENGAN
*INTERMITTENT MIXING***

Oleh :

MIFTAHUL KHOIR

D021171312

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL:
PRODUKSI BIOGAS PADA VARIASI CAMPURAN JERAMI PADI DAN KOTORAN SAPI MENGGUNAKAN *BATCH REACTOR* DENGAN *INTERMITTENT MIXING*

MIFTAHUL KHOIR

D021171312

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc

NIP. 19760216 201012 1 002


Ir. Andi Mangkau, MT

NIP. 19611231 199002 1 003

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin


Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.

NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Miftahul Khoir

NIM : D021171312

Program Studi : Teknik Mesin

Judul skripsi : Produksi Biogas Pada Variasi Campuran Jerami Padi dan Kotoran Sapi Menggunakan *Batch Reactor* dengan *Intermittent Mixing*

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan referensi yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan atau kekeliruan dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 1 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Miftahul Khoir

Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Produksi Biogas pada Variasi Campuran Jerami Padi dan Kotoran Sapi Menggunakan *Batch Reactor* dengan *Intermittent Mixing*”**. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan teladan terbaik bagi umat manusia.

Banyak kendala yang dihadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan skripsi ini, berbagai pihak telah banyak memberikan dorongan, bantuan serta masukan sehingga dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan ucapan terima kasih kepada orang tua ayahanda **Ridwan** dan ibunda tercinta **Nurhayati** yang senantiasa memberi dukungan, motivasi dan semangat kepada penulis, dan juga kepada saudara penulis adinda **Uswatun Hasanah** dan **Ainaya Salsabila** serta seluruh keluarga besar yang memberi dukungan kepada penulis.

Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST.,M.Sc dan Ir. Andi Mangkau, MT selaku pembimbing atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan dari penyusunan konsep dan proposal, pelaksanaan penelitian sampai dengan penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin., ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin., ST., MT dan bapak Asriadi Sakka, ST.,M.Eng selaku tim penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh dosen dan staf pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala ilmu, nasihat dan bantuan selama penulis berkuliah.

5. Saudara-saudara seperjuangan ZYNCROMEZH 2017 dan TEKNIK 2017 yang setia menemani, membantu, dan mendukung penulis dari awal kuliah dan seterusnya. Semoga kesuksesan selalu menyertai kita semua.
6. Organisasi kemahasiswaan HMM FT-UH, OKFT-UH dan SRE UNHAS sebagai wadah belajar dan pembentukan karakter penulis hingga saat ini.
7. Teman-teman seperjuangan Labotatorium Energi Terbarukan yang telah bersedia menemani dan membantu selama masa penelitian dan penyusunan tugas akhir
8. *Last but not least, I wanna thank me for believing in me, for doing all this hard work, for having my days, for never quit, I wanna thank me for just being me at all times.*
9. Serta semua pihak yang tidak sempat disebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian. Penulis menyadari bahwa naskah skripsi ini masih banyak kekurangan oleh karena itu segala kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan demi perbaikan dalam skripsi ini sehingga dapat memberikan manfaat bagi perkembangan energi terbarukan kedepannya.

Gowa, 1 Juli 2022

Penulis

Abstrak

MIFTAHUL KHOIR., *Produksi Biogas Pada Variasi Campuran Jerami Padi Dan Kotoran Sapi Menggunakan Batch Reactor Dengan Intermittent Mixing* (dibimbing oleh Andi Amijoyo Mochtar dan Andi Mangkau).

Penelitian ini difokuskan pada pengaruh pengadukan dalam proses anaerobic digestion dengan variasi rasio campuran antara jerami padi (JP) dan kotoran sapi (KS) terhadap produksi biogas dan kandungan gas metan serta nilai pH selama proses *anaerobic digestion*.

Pada penelitian ini menggunakan digester tipe *batch* berkapasitas 1,8 L dengan volume kerja 1,35 L Pada digester dilakukan pengadukan dengan kecepatan 60 rpm selama 20 menit setiap hari. Digester diletakkan di dalam water bath pada temperatur $37\pm 1^{\circ}\text{C}$. Rasio campuran jerami padi (JP) : kotoran sapi (KS) yaitu 1:1, 1:2, 2:1, 1:0 dan 0:1 dalam *volatile solid* (VS). Proses *anaerobic digestion* dilakukan selama 21 hari.

Rasio campuran yang optimal adalah 1 :1 dengan *biogas yield* sebesar 483 ml/gVS. Nilai *biogas yield* menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan dari penelitian sejenis. Digester dengan rasio campuran 1:1 memiliki *methane yield* tertinggi dibanding digester lainnya yaitu sebesar 307 ml/gVS . Hasil ini menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan dari penelitian sejenis dengan pengadukan manual Nilai pH berkisar pada rentang 6,5-7,2. Oleh karena itu, nilai pH sudah memenuhi rentang optimal daalam mendukung perkembangan mikroorganisme dalam proses AD.

Kata kunci : *Anaerobic Digestion*, Biogas, Kotoran Sapi, Jerami Padi, *mixing*

ABSTRACT

MIFTAHUL KHOIR., *Biogas Production in Mixed Variations of Rice Straw and Cow Manure Using Batch Reactor With Intermittent Mixing (supervised by Andi Amijoyo Mochtar and Andi Mangkau).*

This study focused on the effect of stirring in the anaerobic digestion process by varying the ratio of the mixture between rice straw (RS) and cow manure (CM) on biogas production and methane gas content as well as the pH value during the anaerobic digestion.

In this study, a batch capacity of 1.8 L with a working volume of 1.35 L was used. The digester was stirred at a speed of 60 rpm for 20 minutes every day. The digester was placed in a water bath at a temperature of $37\pm 1^{\circ}\text{C}$. The ratio of rice straw (RS) to cow manure (CM) is 1:1, 1:2, 2:1, 1:0, and 0:1 in volatile solid (VS). The anaerobic digestion was carried out for 21 days.

The optimal mixture ratio is 1:1 with a biogas yield of 483 ml/gVS. The biogas yield shows a significant increase from similar studies. Digester with a mixture ratio of 1:1 has methane yield compared to other digesters, which is 307 ml/gVS. These results indicate a significant increase from similar studies with manual stirring. The pH values ranged from 6.5 to 7.2. Therefore, the pH value has met the optimal range in supporting the development of microorganisms in the AD process.

Keywords: *Anaerobic Digestion, Biogas, Cow Manure, Rice Straw, mixing*

Daftar Isi

LEMBAR PENGESAHAN	iii
Kata Pengantar	v
Abstrak	vii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel	xii
Daftar Arti Simbol/Singkatan.	xiii
BAB 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 Tinjauan Pustaka.....	5
2.1 Energi Terbarukan.....	5
2.2 Biogas.....	5
2.3 <i>Anaerobic Digestion</i>	7
2.3.1 <i>Hydrolysis</i>	8
2.3.2 <i>Acidogenesis</i>	8
2.3.3 <i>Acetogenesis</i>	9
2.3.4 <i>Methanogenesis</i>	9
2.4 Reaktor/Digester.....	10
2.4.1 Batch process reactor	10
2.4.2 <i>Continuous Process Reactor</i>	11
2.5 Parameter Dalam Produksi Biogas.....	13
2.5.1 Temperatur	13
2.5.2 Nilai pH.....	14
2.5.3 <i>Volatile Fatty Acids (VFA)</i>	14
2.5.4 <i>Total Solid (TS) dan Volatile Solid (VS)</i>	15

2.5.5	<i>Organic Loading Rate (OLR)</i>	15
2.5.6	Hydraulic dan <i>Solid Retention Time</i>	16
2.5.7	<i>C/N Ratio</i>	17
2.6	Pengadukan (<i>Mixing</i>).....	17
2.7	Substrat/ Bahan (<i>Feedstock</i>).....	21
2.7.1	Kotoran sapi dan jerami padi	21
2.7.2	<i>Pre-treatment</i>	21
2.7.2	<i>Co-digestion</i>	22
BAB 3	Metode Penelitian	24
3.1	Tempat dan Waktu	24
3.2	Alat dan Bahan	24
3.3	Metode Penelitian.....	25
3.4	Rancangan Penelitian	28
3.5	Pelaksanaan Penelitian	29
3.6	Diagram Alir Penelitian.....	31
3.7	Parameter.....	33
BAB 4	Hasil dan Pembahasan	34
4.1	Produksi Biogas Harian.....	34
4.2	Produksi Biogas Kumulatif	35
4.3	<i>Biogas Yield</i>	36
4.4	<i>Methane Yield</i>	37
4.5	Tekanan Digester.....	40
4.6	Derajat Keasaman (pH)	41
4.7	Uji nyala api	42
BAB 5	Kesimpulan dan Saran	45
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran	45
Daftar Pustaka	46
LAMPIRAN	53

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Skema tahapan <i>anaerobic digestion</i> (Y. Li et al., 2019).....	7
Gambar 2. 2 SBR tunggal (kiri), SBR majemuk (kanan)	11
Gambar 2. 3 Skema <i>continuous stirred tank reactor</i> (Meisam & Hossein, 2018) 12	
Gambar 2. 4 Jenis-jenis pengaduk (Singh et al., 2019).....	18
Gambar 2. 5 Komposisi metana berdasarkan ubahan intensitas pengadukan, waktu pengadukan, dan intervalnya pada lab-scale digester (Singh et al., 2020)	20
Gambar 2. 6 Jenis pre-treatment yang dapat digunakan dalam produksi biogas ..	22
Gambar 3.1 Skema height type of liquid replacement gasometer	27
Gambar 3. 2 Absorpsi CO ₂	28
Gambar 3. 3 Skema instalasi biogas	29
Gambar 4. 1 Produksi biogas harian	34
Gambar 4. 2 Produksi biogas kumulatif.....	35
Gambar 4. 3 Biogas yield.....	36
Gambar 4. 4 Biogas yield (Feng et al., 2017)	37
Gambar 4. 5 Methane Yield	39
Gambar 4. 6 Methane yield (D. Li et al., 2015)	40
Gambar 4. 7 Tekanan digester	41
Gambar 4. 8 Derajat Keasaman (pH).....	42
Gambar 4. 9 Nyala api biogas a) D1 (1:1), b) D4 (1:0), c) D5 (0:1).....	43

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia (Kementerian ESDM, 2016)..	5
Tabel 2.2 Kandungan biogas secara umum (Pertiwiningrum, 2018).....	6
Tabel 2.3 Energi pada biogas (Pertiwiningrum, 2018)	7
Tabel 2.4 Rentang temperatur dan waktu simpan (Seadi et al., 2008).....	13
Tabel 3.1 Nilai total solid dan volatil solid substrat	26
Tabel 3.2 Desain eksperimen	28
Tabel 3.3 Waktu pelaksanaan penelitian.....	32

Daftar Arti Simbol/Singkatan.

AD	<i>Anaerobic Digestion</i>
C/N	<i>Carbon/Nitrogen</i>
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbon Dioksida
HRT	<i>Hydraulic Retention Time</i> / waktu simpan
H ₂ S	Hidrogen sulfida
KOH	Kalium Hidoksida/ Potasium Hidroksida
VS	<i>Volatile Solids</i>
TS	<i>Total Solid</i>
FM	<i>Fresh Matter</i> / Bahan Segar
<i>Sludge /slurry</i>	Campuran substrat

BAB 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk akan berdampak pada meningkatnya kebutuhan energi nasional. Sementara itu, sumber energi yang masih dominan digunakan hingga sekarang adalah sumber energi fosil seperti minyak bumi, batubara, gas bumi dan produk turunannya. Total konsumsi energi final (tanpa biomasa tradisional) tahun 2018 sekitar 114 MTOE (*million tonnes of oil equivalent*) terdiri dari sektor transportasi 40%, kemudian industri 36%, rumah tangga 16%, komersial dan sektor lainnya masing-masing 6% dan 2% (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019)

Dalam *Outlook Energi Indonesia 2019*, disebutkan bahwa pada tahun 2018, konsumsi LPG (salah satu energi primer gas bumi) mencapai 7,5 juta ton yang dipenuhi dari produksi LPG dalam negeri sebesar 2 juta ton (26%) dan impor 5,5 juta ton (74%). Suksesnya program konversi minyak tanah ke LPG menyebabkan konsumsi LPG terus meningkat, sementara penyediaan LPG dari kilang LPG dan kilang minyak di dalam negeri terbatas. Naiknya konsumsi LPG, khususnya LPG 3 kg yang masih disubsidi perlu diantisipasi Pemerintah mengingat banyaknya penggunaan LPG 3 kg yang tidak tepat sasaran (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019)

Oleh karena itu, penerapan teknologi pengolahan limbah menjadi sumber energi seperti produksi biogas dipercaya menjadi salah satu pilihan terbaik dalam menyokong kebutuhan energi nasional. Dari beragam sumber energi terbarukan yang tersedia, biogas dipilih karena mudah diproduksi, serta dapat langsung digunakan untuk berbagai keperluan seperti bahan bakar, elektrifikasi, dll. Sisa limbah dari produksi biogas ini dapat dimanfaatkan sebagai pupuk untuk pertanian (Khalil et al., 2019)

Produksi biogas biasanya memanfaatkan limbah organik dan bahan yang dapat terurai secara hayati lainnya, prosesnya dibantu oleh beragam jenis bakteri dalam keadaan anaerobik (chuculcherm,2017). Prosesnya dinamakan sebagai

Anaerobic Digestion (AD), yaitu sebuah reaksi bio-kimia yang dimanfaatkan untuk mrngolah dan mengubah energi dari beragam jenis biomassa, biasanya berupa produk-produk agrikultur dan limbah dari industrinya (He et al,2016)

Salah satu jenis limbah yang paling banyak ditemui di lingkungan masyarakat, khususnya pedesaan adalah limbah kotoran ternak seperti sapi, ayam, kambing dll. Sapi merupakan salah satu jenis ternak yang paling banyak ditemui. Dari data statistik Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan (2020), terdapat lebih dari 18 juta ekor sapi di Indonesia Berdasarkan keterangan dari United Nation (1984) yang dikutip oleh Widodo (2004) bahwa dalam 1 kg kotoran ternak sapi/kerbau menghasilkan 0,023 – 0,040 m³ biogas, jika diasumsikan satu ekor sapi menghasilkan 10 kg kotoran/hari, maka potensi produksi biogas yang dapat dihasilkan sebesar 0,23-0,40 m³/harinya.

Jerami padi menjadi salah satu substrat biogas yang sangat potensial, mengingat jumlahnya yang sangat besar. Akan tetapi pemanfaatan jerami padi masih sebatas pakan ternak. Bahkan banyak diantaranya yang dibakar langsung setelah masa panen untuk mempermudah pengolahan tanah. Tentunya hal ini menimbulkan sejumlah dampak buruk bagi lingkungan dan masyarakat sekitar. Produksi biogas menjadi satu kunci teknologi dalam pemanfaatan jerami ini, karena memiliki konten organik tinggi. Di lain hal, masalah yang kerap dihadapi dalam biogasifikasi jerami adalah struktur konten lignin yang tinggi dan sulit diurai dalam hidrolisis. Oleh karena itu perlu perlakuan awal lebih lanjut untuk mengatasinya (Haryanto et al., 2018)

Berdasarkan latar belakang inilah yang melandasi dilakukan penelitian dengan **Produksi Biogas Pada Variasi Campuran Jerami Padi Dan Kotoran Sapi Menggunakan *Batch Reactor* Dengan *Intermittent Mixing***

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka diperoleh beberapa rumusan masalah yaitu

1. Bagaimana rasio campuran yang optimal dan *biogas yield* pada campuran jerami padi dan kotoran sapi menggunakan *batch reactor* dengan *intermittent mixing* ?
2. Bagaimana *methane yield* pada campuran jerami padi dan kotoran sapi menggunakan *batch reactor* dengan *intermittent mixing* ?
3. Bagaimana pH campuran jerami padi dan kotoran sapi menggunakan *batch reactor* dengan *intermittent mixing* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pada penelitian ini adalah :

1. Menentukan rasio campuran yang optimal dan *biogas yield* pada campuran jerami padi dan kotoran sapi menggunakan *batch reactor* dengan *intermittent mixing*.
2. Menganalisa *methane yield* pada campuran jerami padi dan kotoran sapi menggunakan *batch reactor* dengan *intermittent mixing*.
3. Menganalisa pH campuran jerami padi dan kotoran sapi menggunakan *batch reactor* dengan *intermittent mixing*.

1.4 Batasan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini penulis membatasi masalah pada hal-hal sebagai berikut:

1. Bahan baku (*feedstock*) yang digunakan dalam proses AD adalah kotoran sapi potong dan limbah jerami padi kering.
2. Rasio campuran antara jerami padi dan kotoran sapi dalam *volatile solid* (JP/KS) masing-masing 1:1, 1:2, 2:1, 1:0, dan 0:1.
3. 810 g inoculum digunakan pada masing-masing rasio campuran, berasal dari *slurry* instalasi biogas ternak sapi potong
4. Digester yang digunakan memiliki kapasitas 1,8 L. Temperatur proses AD dikontrol pada $37\pm 1^{\circ}\text{C}$.

5. Pengadukan dilakukan selama 20 menit/hari pada kecepatan 60 rpm setiap 1x24 jam.
6. Waktu proses AD dibatasi hingga 21 hari

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Memperdalam pengetahuan penulis mengenai produksi biogas, khususnya *anaerobic co-digestion* limbah kotoran sapi dengan jerami padi
2. Sebagai bahan referensi dalam pengembangan riset produksi biogas melalui *anaerobic co-digestion*.
3. Pengembangan teknologi tepat guna yang dapat diaplikasikan langsung oleh masyarakat dalam rangka pemenuhan kebutuhan energi serta penyediaan Energi Baru Terbarukan (EBT)

BAB 2

Tinjauan Pustaka

2.1 Energi Terbarukan

Menurut Twidell dan Weir (1986) seperti yang dikutip dalam (Rural et al., 2007). Energi terbarukan adalah energi yang tersedia melalui proses yang berulang dan berkelanjutan di alam. Energi terbarukan merupakan sumber energi yang berasal dari sumber daya alam dan tidak akan habis karena terbentuk dari proses alam yang berkelanjutan. Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan yang sangat melimpah, terdiri atas panas bumi, energi air, energi angin, bioenergi (bioetanol, biodiesel, biomassa), energi arus laut, energi nuklir, dan energi surya yang hampir dapat diterapkan atau dimanfaatkan di setiap wilayah di Indonesia (Al Hakim, 2020).

Potensi energi terbarukan di Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 2.1** yang dikutip dalam (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019).

Tabel 2.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia (Kementerian ESDM, 2016)

Jenis Energi	Potensi
Tenaga Air	94,3 GW
Panas Bumi	28,5 GW
Bioenergi	PLT Bio : 32,6 GW dan BBN : 200 ribu Bph
Surya	207,8 GWp
Angin	60,6 GW
Energi Laut	17,9 GW

2.2 Biogas

Biogas merupakan produk hasil dari proses dekomposisi biokimia kompleks dari material organik, umumnya mengandung 60-70% metana (CH₄), 30-40% karbon dioksida (CO₂) serta sejumlah kecil gas lain seperti nitrogen

(N₂), hidrogen (H₂), hidrogen sulfida (H₂S), amonia (NH₃), dan uap air. Biogas dihasilkan melalui sebuah proses Anaerobic Digestion (AD) dengan peran mikro-organisme di dalamnya. Dengan kata lain anaerobic digestion ini adalah sebuah proses microbial kompleks yang terjadi secara alami dalam lingkungan tanpa oksigen dan menjadi salah satu metode paling efisien dalam mengubah biomassa menjadi gas metana (Meisam & Hossein, 2018) .Secara umum kandungan biogas dapat terlihat pada **Tabel 2.2** berikut

Tabel 2.2 Kandungan biogas secara umum (Pertiwiningrum, 2018)

Komponen	Presentasi (%)
Metana (CH ₄)	55-75
Karbon dioksida (CO ₂)	25-45
Nitrogen (N ₂)	0-0,3
Hidrogen (H ₂)	1-5
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	1-5
Oksigen (O ₂)	0,1-0,5

Berikut perbandingan nilai energi biogas dengan bahan bakar lainnya seperti yang dikemukakan oleh Pertiwiningrum (2018) dimana kalori dalam 1 m³ biogas setara dengan :

- 6 kwh energi listrik
- 0.62 liter minyak tanah
- 0.52 liter minyak solar atau minyak diesel
- 0.46 kg elpiji
- 3.50 kg kayu bakar
- 0.80 liter bensin
- 1.50 m³ gas kota

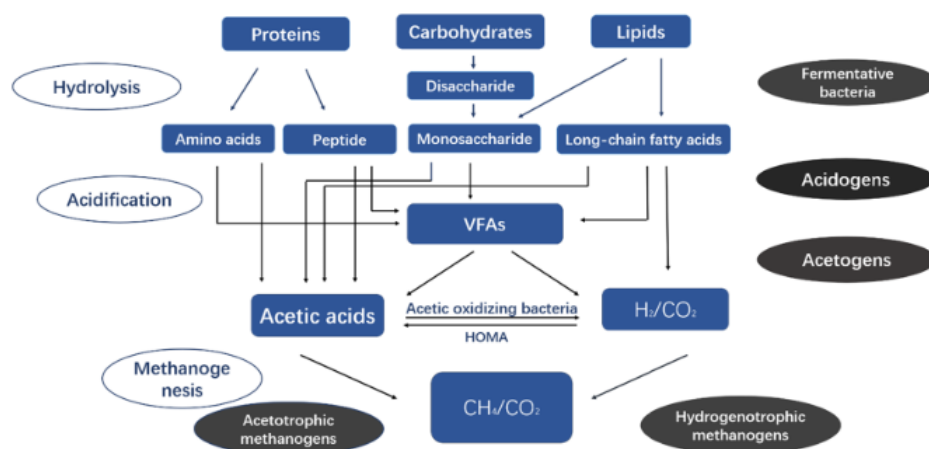
Perhitungan nilai energi yang dihasilkan dari biogas dapat dilakukan yaitu dengan mengasumsi 1 kg kotoran sapi bisa menghasilkan 0,03 m³ gas. Jumlah kotoran yang dihasilkan oleh satu ekor sapi tiap hari sekitar 10 kg. Maka perkiraan jumlah sapi dewasa (berat 500 kg) yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah gas dapat dilihat pada **Tabel 2.3**

Tabel 2.3 Energi pada biogas (Pertiwiningrum, 2018)

No	Ukuran biogas (m ³)	Jumlah sapi (ekor)	Kotoran (kg)	Energi (kcal)
1	2	2-3	20-30	10400-18000
2	3	3-4	30-40	15600-17700
3	4	4-6	40-60	20800-23600
4	6	6-10	60-100	31200-35400
5	8	12-15	120-150	41600-47200

2.3 Anaerobic Digestion

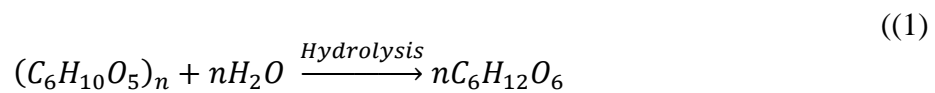
Anaerobic digestion (AD) adalah sebuah proses bio-kimia kompleks, dimana mikroorganisme mengurai material organik dalam kondisi lingkungan anaerob (tanpa oksigen) (Seadi et al., 2008). AD pada dasarnya terdiri dari 4 tahapan proses, yaitu *hydrolysis*, *acidogenesis*, *acetogenesis* dan *methanogenesis*.



Gambar 2.1 Skema tahapan *anaerobic digestion* (Y. Li et al., 2019)

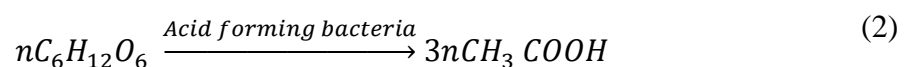
2.3.1 *Hydrolysis*

Hydrolysis merupakan tahapan pertama dimana penyusun bahan baku seperti karbohidrat, protein dan lemak dipecah menjadi molekul larut seperti gula, asam amino, asam lemak, dan senyawa lainnya. Dalam banyak kasus, *hydrolysis* adalah tahapan paling lambat karena pada tahap ini terbentuk *volatile fatty acids* (VFA) serta senyawa penghambat lainnya (Kumar & Samadder, 2020). Selama proses *hydrolysis*, mikroba hidrolisis akan menghasilkan enzim seperti selulosa, selobiosa, amilase, silase, dan lipase. Enzim-enzim inilah yang akan menghidrolisis polisakarida, *lipids* dan protein yang terdapat dalam limbah, diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana dan mudah larut (Scapini et al., 2019; Seadi et al., 2008). Dalam studinya, Van et al. (2020) menyertakan reaksi kimia yang terjadi pada tahap hidrolisis, mikroorganisme hidrolisis cenderung memiliki ketahanan terhadap perubahan lingkungan dan toksin yang mungkin terdapat pada bahan baku.



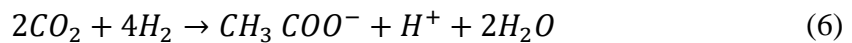
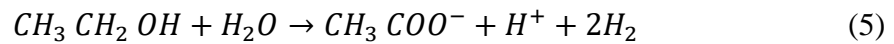
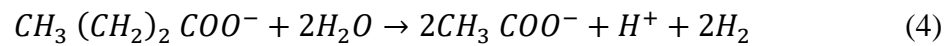
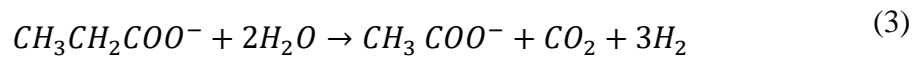
2.3.2 *Acidogenesis*

Pada tahap *acidogenesis* (juga disebut fermentasi), bakteri *acidogenic* akan mengubah senyawa-senyawa dari hidrolisis menjadi *volatile fatty acids* (VFA) seperti *propionic acid*, *butric acid*, *acetic acid*, dan *ethanol*. Bakteri acidogenik berkembang sangat cepat (30 menit). pH campuran akan sangat mempengaruhi produksi VFA. Perubahan pH secara bertahap dari 4-8, menyebabkan perubahan butric dan *acetic acid* menjadi *acetic* dan *propionic acid*. Rentang pH optimal acidogenesis berada pada pH 5.5-6.5 (Van et al., 2020).



2.3.3 *Acetogenesis*

Pada tahap ini, sebagian besar produk acidogenesis diubah menjadi asam asetat (CH_3COOH), hidrogen (H_2) dan karbon dioksida seperti pada reaksi (3)-(6) di bawah. Proses *Acetogenesis* lebih lambat dibanding *acidogenesis* (1.5- 4 hari). Fase ini berlangsung optimum pada lingkungan dengan pH 6.0-6.2 dan rentan terhadap oksidan (bersifat toksik) seperti oksigen dan nitrat. Tekanan parsial dari produk hidrogen yang tinggi ($\geq 10^{-4}$ atm) akan menjadi penghambat proses reaksi (3) dan (4), sebab itu produk hidrogen harus dilepaskan. (Van et al., 2020). selama fase metanogenesis, hidrogen diubah menjadi metana. Fase *acetogenesis* dan metanogenesis biasanya berlangsung parallel sebagai simbiosis dua kelompok organisme (Seadi et al., 2008).



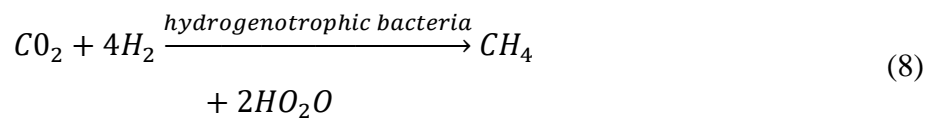
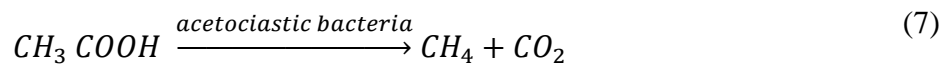
2.3.4 *Methanogenesis*

Produksi metana dan karbon dioksida dari produk *intermediate* dari fase *acetogenesis* diurai oleh bakteri metanogenik. 70% metana terbentuk dari *acetat*, sementara 30 % sisanya berasal dari penguraian hidrogen (H) dan karbon dioksida (CO_2) (Seadi et al., 2008). Pada tahap metanogenesis ini, terdapat 2 kelompok proses reaksi yang melibatkan *acetoclastic* dan *hydrogenotrophic* metanogenesis. Pertama bakteri acetotrophic mengurai acetic acid menjadi metana dan karbon dioksida seperti pada reaksi (7) dibawah.

Kedua, *hydrogenotrophic* metanogen memanfaatkan karbon dioksida dan hidrogen sebagai sumber makanan seperti pada reaksi (8).

Bakteri *hydrogenotrophic* memerlukan waktu minimum 4-12 jam unruk berkembang, sementara bakteri *acetotrophic* memerlukan waktu lebih lama untuk berkembang, yakni sekitar 2-3 hari (Van et al., 2020). Metanogenesis menjadi tahapan kritis dalam proses AD, dimana metanogenesis merupakan reaksi biokimia paling lambat dari tahapan yang lain (Adekunle & Okolie, 2015; Seadi et al., 2008).

Secara umum tahapan ini sangat sensitive terhadap kondisi pH, oksigen, dan factor lain seperti *free ammonia* (FAN), H₂S dan VFA. Metanogenesis tak bisa berlangsung pada kondisi pH dibawah 6.2 dan pada saat kondisi pH > 7.8 akan terbentuk *free ammonia* (FAN) yang menghambat reaksi metanogenesis. Dalam banyak studi, kondisi lingkungan netral (pH 7.0 – 7.2) menjadi rentang nilai pH optimal dalam perkembangan bakteri metanogenesis. Disamping itu, konsentrasi VFA rendah (<200 mg/L) juga menjadi syarat agar proses reaksi berlangsung stabil. Dan yang tak kalah pentingnya, perubahan temperatur dalam reaktor harus seminimal mungkin, yakni <1°C pada reaktor termofilik dan 2-3°C/hari untuk reaktor mesofilik (Van et al., 2020).



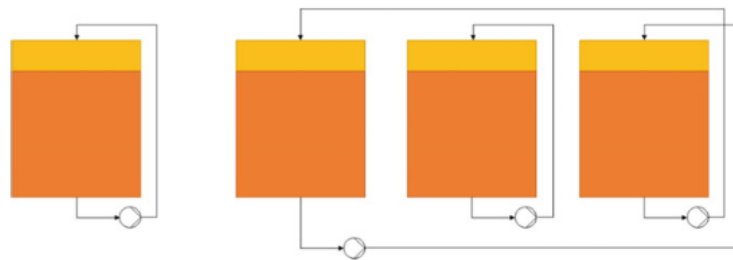
2.4 Reaktor/Digester

Reaktor atau digester merupakan tempat dimana bahan organik terdekomposisi dalam lingkungan bebas oksigen, sehingga dihasilkan biogas. Berikut klasifikasi reaktor yang digunakan dalam proses AD seperti yang disimpulkan (Meisam & Hossein, 2018)

2.4.1 Batch process reactor

Reaktor jenis ini juga dikenal dengan *sequencing batch reactor* (SBR). Dalam penggunaannya, reaktor diisi sekali dan endapan (*digestate*)

yang terbentuk kembali disirkulasikan sampai diakhir siklus. Produksi biogas yang dihasilkan tidak konstan dikarenakan perbedaan laju reaksi selama fermentasi, dimana produksi gas tertinggi berada pada $\pm 50\%$ dari waktu fermentasi (Meisam & Hossein, 2018).



Gambar 2.2 SBR tunggal (kiri), SBR majemuk (kanan)

(Meisam & Hossein, 2018)

2.4.2 *Continuous Process Reactor*

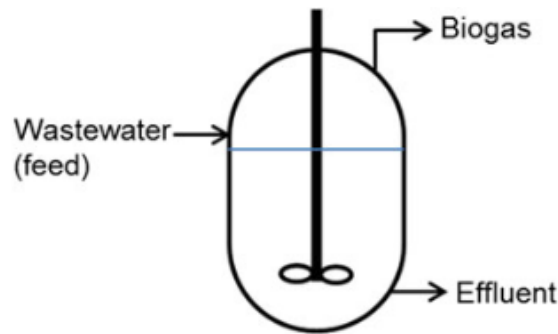
Pada reaktor jenis ini, proses pemasukan bahan organik terjadi secara konstan (kontinu dengan interval waktu tertentu). Hal ini membuat produksi biogas hampir stabil (Meisam & Hossein, 2018). Reaktor dapat dibuat secara vertikal, horizontal, baik dalam satu atau multi tahap, atau berdasarkan jenis pengadukannya. Berikut diantaranya :

2.4.2.1 *Plug Flow Reactor (PFR)*

Dibandingkan dengan reaktor anaerobik lainnya, PFR biasanya lebih sederhana untuk dioperasikan karena tak ada bagian bergerak pada sistemnya, yang membuatnya lebih murah dan mudah untuk dibuat (Dong et al., 2019)

2.4.2.2 *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*

Reaktor ini banyak digunakan secara luas pada pengolahan limbah dengan kadar endapan tinggi seperti limbah ternak, limbah industri. Dalam penerapannya, CSTR dilengkapi dengan sistem pengaduk untuk membantu bahan tercampur rata sehingga lebih efisien dalam produksi biogas. Untuk meningkatkan efisiensi AD, digunakan CSTR dengan sistem 2 tahap, dimana produksi biogas meningkat pada reaktor kedua (Mao et al., 2015).



Gambar 2. 3 Skema *continuous stirred tank reactor* (Meisam & Hossein, 2018)

2.4.2.3 *High load reactor*

Reaktor jenis ini memiliki kelebihan yakni mampu menerima *organic loading rate* (OLR) yang lebih tinggi (8-20 kg vs/m³ d). akan tetapi reaktor ini kurang cocok digunakan pada bahan organik dengan *total suspended solid* (TSS), dimana akan terjadi endapan pada dasar reaktor (Meisam & Hossein, 2018).

High load reactor dapat diklasifikasikan lagi menjadi :

- *Fixed or moving bed reactor*
- *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB)
- *Membrane Reactor* (MBR)

2.4.2.4 *Covered lagoon*

Reaktor ini didesain dengan penutup (cover) yang dapat merenggang untuk menampung gas. *Lagoon* sendiri merupakan sistem penampungan limbah cair pada pengolahan limbah. Biasanya terdiri dari satu sel tertutup (proses AD berlangsung) dan sel lainnya dibiarkan terbuka. *Lagoon* digester bekerja dengan baik pada limbah ternak dengan kandungan *total solid* <2%, sangat murah dan efektif dalam menghilangkan bau. Akan tetapi produksi biogas yang rendah, perawatan yang sulit menjadi kendala dalam penerapannya (Mutungwazi et al., 2018)

2.5 Parameter Dalam Produksi Biogas

Perkembangan dan aktivitas mikroorganisme anaerobik sangat mempengaruhi proses AD itu sendiri. Efisiensi proses di dalamnya sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter penting seperti temperatur, pH, rasio C/N bahan, intensitas pengadukan, waktu fermentatif, dan kandungan senyawa penghambat (*toxic/inhibitors*) (Meisam & Hossein, 2018; Seadi et al., 2008). Menjaga parameter-parameter tersebut pada rentang optimalnya merupakan faktor kunci pada kestabilan operasi jangka panjang AD (C. Zhang et al., 2014). Berikut penjelasan mengenai parameter tersebut :

2.5.1 Temperatur

Temperatur merupakan parameter krusial yang sangat mempengaruhi proses AD (C. Chen et al., 2016). Proses AD berlangsung pada kondisi temperatur psikrofilik ($15\pm 1^{\circ}\text{C}$), mesofilik (37°C) dan termofilik ($55-70^{\circ}\text{C}$). Dari ketiganya, kondisi termperatur termofilik dilaporkan memiliki laju reaksi, dan kapasitas penguraian tertinggi, sehingga memiliki produktivitas biogas tertinggi (Mao et al., 2015). Akan tetapi pada temperatur ini, produksi amonia yang bersifat penghambat juga makin tinggi yang mendorong ketidakstabilan proses AD (Meisam & Hossein, 2018; Weiland, 2010).

Tabel 2. 4 Rentang temperatur dan waktu simpan (Seadi et al., 2008)

Rentang	Temperatur	Waktu simpan (<i>retention time</i>)
Psikrofilik	$< 20^{\circ}\text{C}$	70-80 hari
Mesofilik	$30-42^{\circ}\text{C}$	30-40 hari
Termofilik	$43-55^{\circ}\text{C}$	15-20 hari

Temperatur rendah diketahui menghasilkan produksi biogas karena rendahnya perkembangan mikroba. Secara umum, proses mesofilik cenderung stabil dan tahan terhadap fluktuasi temperatur, meskipun lamban pada tahap awal fase AD (Seadi et al., 2008)

2.5.2 Nilai pH

perkembangan mikroba di reaktor serta produksi biogas juga ditentukan oleh kondisi pH (Yang et al., 2015). Perkembangan beragam mikroorganisme dalam AD terjadi pada nilai pH yang berbeda, contohnya *acidogen* (5.0-6.0) dan *methanogen* (6.5-8) (Kundu et al., 2017). Dalam studinya, Yang et al. (2015), membuktikan ketika pH dikontrol, kandungan metana meningkat 7 kali lipat dibandingkan pada kondisi dimana pH tidak dikontrol. Beragam strategi digunakan dalam mengontrol nilai pH pada proses AD, diantaranya mengatur *organic loading rate* (OLR) untuk mencegah terbentuknya VFA (dikenal dengan pengasaman). Strategi lainnya adalah dengan ekstraksi *propionic acid* (Wang et al., 2009), penambahan sodium hydroxide (Chandra et al., 2012). Perlu diketahui bahwa sodium ion dapat menjadi penghambat metanogenesis saat konsentrasinya diatas 3500 mg/L pada kondisi mesofilik (Y. Chen et al., 2008).

2.5.3 Volatile Fatty Acids (VFA)

Volatile fatty acid merupakan senyawa sampingan yang dihasilkan selama proses hidrolisis dan acidogenesis, yang dapat mengganggu proses AD jika kandungannya di atas batas tertentu. VFA terdiri dari asam organik seperti *acetic, propionic, butyric, dan valeric acids* (Haugen, 2014), dimana asam organik tersebut digunakan dalam tahap acetogenesis dan metanogenesis untuk memproduksi produk final AD yaitu metana. (Argyropoulos, 2013) dalam studinya melaporkan bahwa produksi metana terhambat diatas 50% pada saat konsentrasi *acetate, butyrate* dan *propionate* masing-masing diatas 13, 15, dan 3.5 g/L. Untuk mencegah terhambatnya produksi metana akibat akumulasi dari VFA selama proses AD, ko-digestif (*co-digestion*) dengan bahan organik lain atau membuat proses AD dalam dua tahap (*two-stage digestion*) terbukti efektif (Jain et al., 2015)

2.5.4 *Total Solid (TS) dan Volatile Solid (VS)*

Total solid adalah jumlah bahan padat yang tersisa setelah bahan organik dikeringkan. TS dari bahan substrat dan TS selama proses adalah dua faktor utama dalam menentukan tipe sistem dan desain reaktor. Misalnya jika TS berada diantara 7-9%, cocok menggunakan reaktor jenis floating dome, sementara TS 4-15% akan efektif menggunakan reaktor jenis CSTR, serta TS 15-30% cocok menggunakan reaktor tipe kering (Krishania et al., 2013). Nilai TS ditentukan dengan mengeringkan sampel bahan selama > 8 jam dalam oven pada temperatur 105°C sehingga berat sampel akan berkurang, kemudian dihitung berdasarkan persamaan dibawah :

$$TS (\%) = \frac{\text{Berat kering sampel}}{\text{Berat awal sampel}} \times 100 \quad (9)$$

Volatile solid adalah jumlah padatan organik pada sampel biomassa. Perlu diketahui bahwa TS merujuk pada total bahan organik dan non-organik dari sampel, sedangkan VS merujuk pada senyawa organik yang ada pada sampel. VS ditentukan dengan membakar sampel yang telah dikeringkan selama proses penentuan TS diatas pada temperatur 550°C selama 2 jam kemudian diukur beratnya (Labatut & Gooch, 2012).

VS dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$VS (\%) = \frac{\text{Berat sampel kering} - \text{berat abu hasil pembakaran}}{\text{Berat sampel kering}} \times 100 \quad (10)$$

2.5.5 *Organic Loading Rate (OLR)*

OLR adalah jumlah material organik yang dimasukkan kedalam reaktor/digester seriap harinya. Lebih lanjut, OLR merupakan dejumlah VS yang dimasukkan ke dalam volume reaktor per harinya dan dinyatakan dalam kgVS/m³ reaktor/hari (Meisam & Hossein, 2018). OLR dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$OLR \left(\text{kgVS}/\text{m}^3/\text{hari} \right) = \frac{\text{total VS harian (kg)}}{\text{volume aktif reaktor (m}^3\text{)}} \quad (11)$$

Nilai OLR yang sesuai bergantung pada banyak faktor, terutama pada karakter limbah, temperatur, tingkat aktivitas mikroba dalam reaktor. Nilai OLR biasanya dijaga tetap rendah saat diawal proses AD, kemudian ditingkatkan secara bertahap seiring dengan stabilitas proses ditandai dengan nilai pH dan VFA yang terkendali (Akunna, 2018)

2.5.6 Hydraulic dan Solid Retention Time

Hydraulic retention time (HRT) adalah durasi rata-rata bahan/substrat berada di dalam reaktor dan dihitung sebagai rasio dari volume aktif reaktor dengan volume pemasukan bahan harian (Drosg, 2013).

$$HRT \text{ (hari)} = \frac{\text{total volume aktif digester (m}^3\text{)}}{\text{total pemasukan material harian (m}^3\text{)}} \quad (12)$$

HRT yang rendah dapat menghilangkan biomassa aktif dalam reaktor termasuk metanogens, sementara jika HRT tinggi mengakibatkan rendahnya produksi biogas. Oleh karena itu, penting untuk memastikan nilai HRT yang tepat (Drosg, 2013).

Solid retention time (SRT) adalah lama waktu tinggal bahan padat berada dalam reaktor. SRT merupakan sebuah parameter operasi krusial karena tak hanya berefek pada efisiensi proses tapi juga mengendalikan karakteristik reaksi biokimia yang beujung pada stabilitas AD (Jarvis & Schnürer, 2010).

$$SRT \text{ (hari)} = \frac{\text{total solid dalam reaktor (kg)}}{\text{total solid pemasukan harian (kg/hari)}} \quad (13)$$

Dalam banyak kasus, HRT sama dengan SRT, akan tetapi pada reaktor dimana residu AD disirkulasikan kembali ke dalam proses, nilai SRT melebihi nilai HRT (Jarvis & Schnürer, 2010).

2.5.7 *C/N Ratio*

Ketersediaan nutrisi sangat penting bagi perkembangan mikroba dalam reaktor, dan rasio C/N menjadi indikatornya. Rasio C/N optimal dapat membantu mencegah masalah-masalah serius yang mungkin terjadi dalam proses AD, misalnya jika rasio C/N tinggi mengindikasikan konsumsi nitrogen oleh metanogen yang cepat mengiring pada rendahnya prosksi biogas, sementara rasio C/N rendah akan mengarah pada tingginya amonia dan peningkatan nilai pH yang bersifat toksik bagi bakteri metanogen (T. Zhang et al., 2013). Dalam kata lain, untuk mencapai laju dekomposisi bahan organik yang akan berefek pada tingginya produksi biogas, rasio C/N harus diatur konstan dan diawasi (Mao et al., 2015).

Sebagai contoh, kotoran ternak, khususnya sapi yang memiliki rasio C/N rendah dapat menjadi pilihan ideal untuk ko-digestif dengan bahan tinggi karbon lain seperti limbah pertanian. Bahan karbon tinggi seperti silase digunakan secara luas ketika dikombinasikan dengan limbah pengolahan makanan (Linke et al., 2013). Secara umum, rasio C/N optimal berada diantara 20 sampai 30, sementara itu rasio C/N 25 menjadi yang banyak digunakan (T. Zhang et al., 2013).

2.6 Pengadukan (*Mixing*)

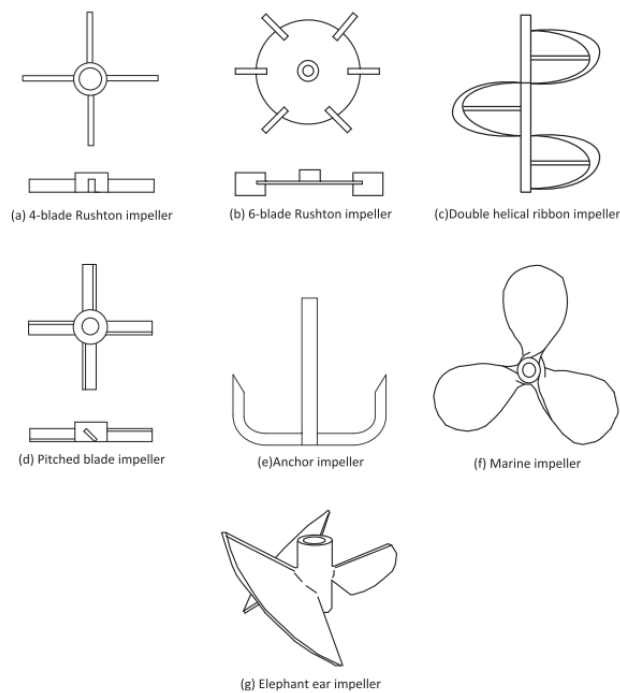
Hampir 44% kegagalan pada biogas plant disebabkan karena kerusakan pada sistem pengadukannya (Hopfner-Sixt & Thomas, 2007).

Secara umum, pengadukan bertujuan (Singh et al., 2020) :

1. Menghindari pengendapan di dasar reaktor
2. Memastikan bahan substrat tercampur rata dan seragam sehingga mendukung perkembangan mikroorganisme di dalam reaktor
3. Mengeluarkan biogas yang terdapat di dalam *slurry*
4. Menghindari terbentuknya lapisan buih di permukaan *slurry*

Banyak literatur yang mendukung bahwa pengadukan mekanikal menjadi sistem pengadukan paling efektif dalam hal konsumsi daya

dibanding dengan dengan pengadukan lain, misalnya dengan sirkulasi pompa. Terdapat 2 parameter penting dalam pengadukan dalam AD, yaitu intensitas pengadukan dan durasi. (Singh et al., 2019). Pada batch reaktor, intensitas pengadukan harus diatur berdasarkan tahapan proses AD. saat saat awal digestasi (*start-up*), pengadukan intensitas tinggi diperlukan, namun saat tahapan metanogenesis, kecepatan pengaduk harus diturunkan. Sedangkan pada sistem continous reaktor, kecepatan pengaduk berkisar 50-80 rpm karena tahapan proses AD terjadi secara paralel (Singh et al., 2020).

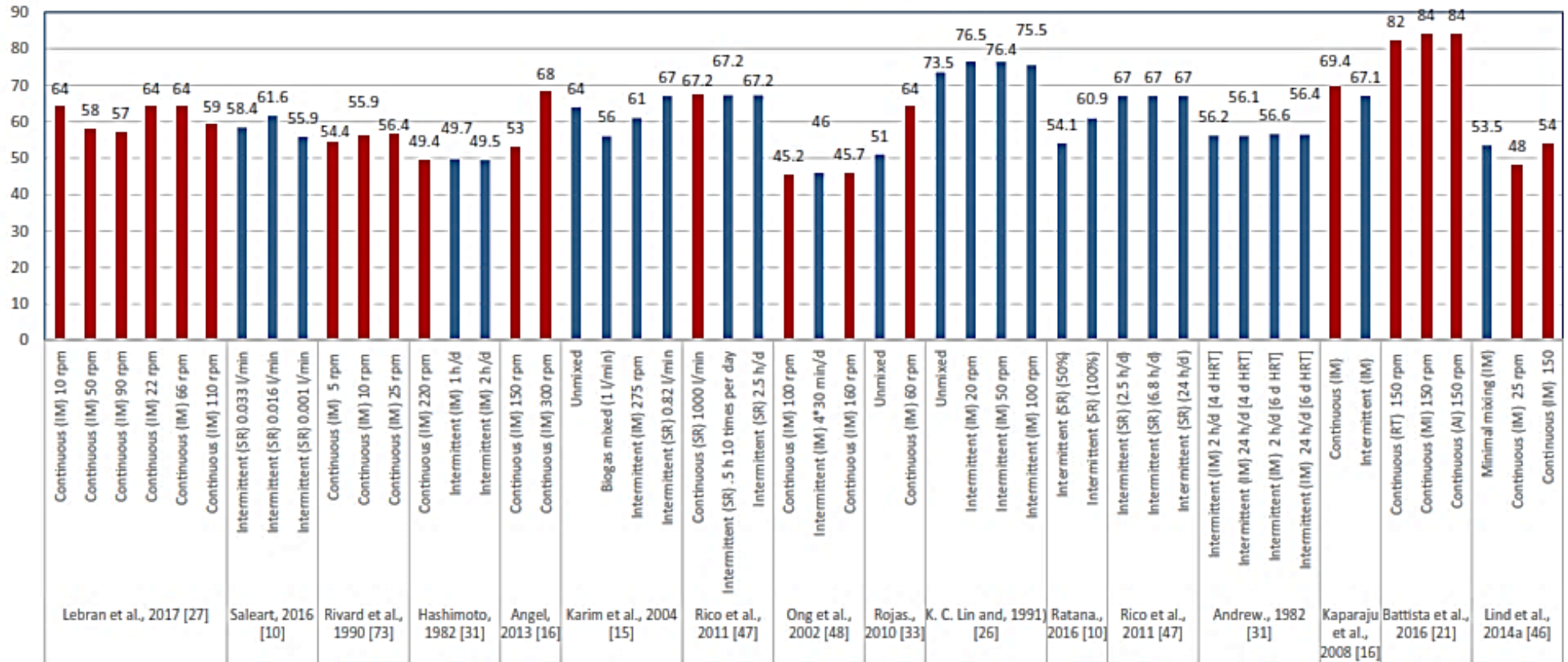


Gambar 2.4 Jenis-jenis pengaduk (Singh et al., 2019)

Waktu disesuaikan dengan desain pengaduk, kecepatan pengadukan, jumlah dan penempatan pembuangan substrate pada reaktor, sifat substrat dan desain reaktornya.(Singh et al., 2019). Dalam penelitiannya, Shen et al., (2013) merekomendasikan kecepatan pengadukan 80 rpm pada AD dengan bahan jerami pada OLR 65 gTS/l dengan menggunakan *triple impeller blade*. Produksi biogas kumulatif pada kecepatan 80, 40, 120 rpm masing-masing lebih tinggi 23.6%, 11,4 % dan 18.3% dibanding putaran 160 rpm. Pengadukan secara intermiten lebih dipilih karena efisiensi penggunaan daya dan kecilnya perbedaan produksi gas jika dibandingkan dengan

pengadukan kontinu (Hashimoto, 1982). Pengadukan intermiten juga meningkatkan reduksi TS dan VS dibanding dengan pengadukan kontinu (Lindmark et al., 2014).

Metane content (%)



Gambar 2.5 Konsentrasi metan berdasarkan ubahan intensitas pengadukan, waktu pengadukan, dan intervalnya pada lab-scale digester (Singh et al., 2020)

2.7 Substrat/ Bahan (*Feedstock*)

2.7.1 Kotoran sapi dan jerami padi

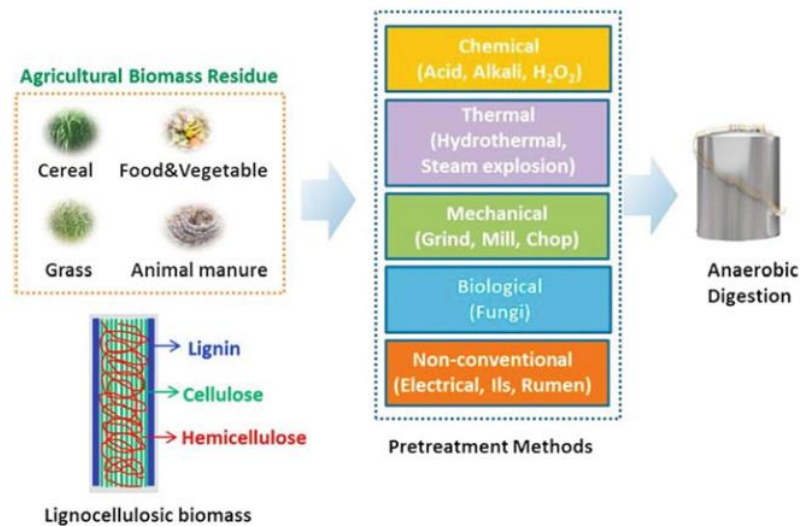
Jerami padi merupakan bahan baku yang menjanjikan dalam produksi biogas. Dalam penelitiannya, Haryanto et al. (2018) menyebutkan setidaknya terdapat 49.63 – 99.26 juta ton jerami padi yang dihasilkan tiap tahunnya di Indonesia. Akan tetapi pemanfaatan jerami masih sangat minim. Sebagian besarnya hanya digunakan sebagai pakan ternak dan dimusnahkan dengan cara dibakar. Jerami padi memiliki serat organik tinggi seperti selulosa (25 – 35 %), hemiselulosa (32-37 %) dan lignin (6-10 %). Akan tetapi tantangan dalam pemanfaatannya dalam biogasifikasi adalah tingginya rasio C/N yang akan mengakibatkan rendahnya performa hidrolisis, serta penguraiannya yang terhambat karena memiliki kandungan lignin tinggi, seperti bahan lignoselulosa lainnya. Hal-hal tersebut dapat diminimalisir dengan melakukan pre-treatment baik secara mekanikal, biologi maupun kimiawi.

Kotoran sapi menjadi salah satu bahan dalam AD yang sangat potensial. Banyak penelitian yang telah dilakukan seputar AD dengan kotoran sapi. Sebagian besar dilakukan dengan *co-digestion* dengan beragam bahan lignoselulosa seperti limbah-limbah pertanian maupun limbah rumah tangga/ industri. Hasilnya menunjukkan bahwa *co-digestion* kotoran sapi dengan jerami limbah pertanian dapat meningkatkan produksi biogas secara signifikan (D. Li et al., 2015). Rasio C/N kotoran sapi yang berkisar 20-30 menjadikannya sangat ideal untuk digunakan dalam proses AD.

2.7.2 *Pre-treatment*

Pre-treatment (perlakuan awal) dilakukan untuk mempermudah bahan/substrat terdekomposisi dalam proses AD. Limbah-limbah pertanian menjadi salah satu bahan yang sangat potensial dalam produksi biogas. Akan tetapi, limbah pertanian biasanya memiliki struktur polimer organik seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang sulit terurai dalam proses AD. Hal ini membuat terbatasnya produksi biogas dari material/substrat

tersebut. Untuk itu diperlukan *pre-treatment* untuk memecah struktur polimer kompleks tadi (Yu et al., 2019)



Gambar 2.6 Jenis *pre-treatment* yang dapat digunakan dalam produksi biogas

(Treichel et al., 2019).

Pre-treatment dapat diklasifikasikan menjadi :

1. *Physical pretreatment* , diantaranya mekanikal (pengayakan, penggilingan), *ultrasound*, dan *thermal pretreatment*
2. *Chemical pretreatment*, diantaranya *acid*, *alkaline* dan *oxidative pretreatment*
3. *Biological pretreatment*, diantaranya fungi, dan *enzyme pretreatment*.

2.7.2 *Co-digestion*

Co-digestion merupakan perpaduan kombinasi dari material feedstock yang berbeda, contohnya kotoran ternak dan limbah pertanian. Saat ini, *co-digestion* menjadi teknologi standar dalam produksi biogas di banyak negara (Meisam & Hossein, 2018). Keuntungan dari *co-digestion* ini diantaranya peningkatan produksi biogas, homogenitas dan stabilnya proses AD, dan rasio C/N yang optimal (Meisam & Hossein, 2018).

Penelitian ini merujuk kepada penelitian **Effect of Feeding Ratio on Anaerobic Co-Digestion of Rice Straw and Cow Manure** (Feng et al., 2017) dalam penentuan *experimental design* penelitian ini. Kemudian ditambahkan sistem pengaduk untuk selanjutnya dapat dilakukan perbandingan produksi biogas yang dihasilkan.