

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. KARAKTERISTIK BAHAN AWAL

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas jerami padi dan *sludge*. Pertimbangan atas penggunaan bahan tersebut yaitu jumlahnya yang melimpah serta kemudahan dalam mendapatkannya. Romli (2010) menerangkan bahwa *sludge* merupakan produk samping yang dihasilkan dari proses penanganan limbah cair, berupa suspensi padatan anorganik dan organik (antara 1-5%), yang bercampur dalam cairan (efluen) yang mengandung berbagai jenis padatan terlarut. Hasil yang diperoleh dari analisis *sludge* dan jerami ditunjukkan pada tabel 11 dan table 12 di bawah ini:

Tabel 11. Karakteristik *sludge*

Kadar air (%)	Kadar abu (%)	pH	% TS	%TVS (wet)	% TVS (dry)	C (%)	N (%)	Rasio C/N
96.66	1.05	6.23	3.34	2.29	68.55	45.8	2.4	19.08

Tabel 12. Karakteristik jerami

Bahan Baku	Karakteristik	Nilai
Jerami Kering	Kadar Air (%)	17.41
	Kadar Abu (%)	28.31
	C (%)	38
	N (%)	0.5
	Rasio C/N	76
	Total Solid (%)	82.59
	Total Volatile Solid (wb) (%)	54.28
Total Volatile Solid (db) (%)	65.72	
Campuran Jerami dan sludge (bahan yang digunakan), dengan komposisi 3:5	Kadar Air (%)	81.36
	Kadar Abu (%)	6.28
	C (%)	32.15
	N (%)	0.90
	Rasio C/N	35.7
	Total Solid (%)	18.64
	Total Volatile Solid (wb) (%)	12.36
Total Volatile Solid (db) (%)	66.32	
Campuran Jerami dan sludge (bahan yang digunakan), dengan komposisi 5:3	Kadar Air (%)	78.10
	Kadar Abu (%)	6.97
	C (%)	40.64
	N (%)	1.26
	Rasio C/N	32.17

Total Solid (%)	21.90
Total Volatile Solid (wb) (%)	14.93
Total Volatile Solid (db) (%)	68.18

Dari hasil analisis pada tabel di atas menunjukkan bahwa jerami kering yang digunakan memiliki kadar air yang rendah, sedangkan pada campuran jerami dan sludge dengan komposisi 3:5 kadar air cukup tinggi yaitu sebesar 81.36% dan pada jerami:sludge komposisi 5:3 sebesar 78.10%. Berkaitan dengan produksi biogas, Price (1981) menjelaskan bahwa perbedaan kadar air 36-99% akan meningkatkan produksi biogas sebesar 67%. Kandungan air dalam substrat dan homogenitas sistem memengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kandungan air yang tinggi akan memudahkan proses penguraian, sedangkan homogenitas sistem membuat kontak antar mikroorganisme dengan substrat menjadi lebih intim.

Van Buren (1979) juga menguatkan bahwa agar dapat beraktivitas normal, bakteri penghasil biogas memerlukan substrat dengan kadar air 90% dan kadar padatan 8-10%. Jika bahan yang digunakan merupakan bahan berjenis kering, maka perlu ditambah air, tetapi jika substratnya berbentuk lumpur, maka tidak perlu banyak penambahan air. Penambahan air akan meningkatkan konsentrasi oksigen yang bersifat racun bagi bakteri anaerob, sedangkan kadar air yang rendah mengakibatkan terjadinya akumulasi asam asetat yang bersifat menghambat pertumbuhan bakteri metanogen. Kandungan air akan berkaitan langsung dengan ketersediaan oksigen untuk aktivitas mikroorganisme aerobik. Bila kadar bahan berada kisaran 40-60% maka mikroorganisme pengurai aerobik akan bekerja secara optimal dan menyebabkan dekomposisi bahan berjalan cepat. Namun jika di atas 60%, yang berperan adalah bakteri anaerobik. Hasil analisis menunjukkan padatan total hasil karakterisasi bahan awal pada jerami kering sebesar 82.59% sedangkan pada jerami:sludge komposisi 3:5 sebesar 18.64% dan pada jerami:sludge komposisi 5:3 sebesar 21.90%. Nilai ini sesuai dengan kondisi kadar padatan optimum fermentasi biogas.

Kriteria lain yang juga sering digunakan pada proses fermentasi anaerobik adalah kandungan *Volatile Solid* atau padatan organik. Siregar (2005) menerangkan bahwa padatan-padatan (TS, SS, DS, serta fraksi *volatile* dan *fixed*) dapat digunakan untuk menentukan kepekatan air limbah, efisiensi proses, dan beban unit proses. Nilai tersebut menunjukkan seberapa besar proses degradasi atau penguraian suatu bahan oleh mikroorganisme. Padatan organik atau *volatile solid* dari hasil analisis menunjukkan nilai yang cukup besar yaitu 65.72% pada bahan jerami kering. Padatan organik mengalami kenaikan setelah dicampurkan dengan *sludge* yaitu 66.32% pada jerami:sludge komposisi 3:5 dan 68.18% pada jerami:sludge komposisi 5:3. Kenaikan tersebut menunjukkan peluang yang cukup besar untuk dikonversikan menjadi sejumlah biogas hasil proses fermentasi anaerobik karena persentase teruapkannya padatan organik yang besar.

Di samping karakterisasi jerami, juga dilakukan karakterisasi *sludge* yang digunakan dalam proses ini. Menurut Boopathy (1986) dalam Rohim (1991), sumber inokulum mempunyai pengaruh yang nyata terhadap persen reduksi selulosa, kadar asam lemak menguap, persen reduksi padatan total, padatan menguap total, padatan organik, dan produksi biogas. Berdasarkan hasil analisis, *sludge* yang akan digunakan memiliki

kadar air yang tinggi yaitu 96.66%, kadar abu 1.05%, padatan total 3.34%, serta padatan organik (db) sebesar 68.55% dan 2.29% (wb). Selain itu, *sludge* juga memiliki nilai COD yang besar yaitu 71200 mg/l. Penambahan air pada campuran jerami dan *sludge* tetap diperlukan walaupun *sludge* mengandung kadar air yang tinggi karena jerami yang digunakan memiliki kadar air yang rendah. Selanjutnya dilakukan penambahan kotoran sapi sebagai inokulum awal. Selain untuk mendapatkan padatan total yang sesuai, juga rasio C/N yang tepat sehingga pertumbuhan mikroorganisme pada proses ini dapat maksimal.

Sulaeman (2007) menyebutkan bahwa unsur C/N merupakan karakteristik terpenting dalam bahan organik dan berguna untuk mendukung proses pengomposan. Unsur N banyak terbentuk dari protein sedangkan unsur C banyak dibentuk oleh karbohidrat, selulosa, lemak, asam-asam organik, dan alkohol (Susanto,dkk 1988). Dalam hal ini jerami berperan sebagai penyedia karbon dan *sludge* sebagai penyedia nitrogen. .

Di Indonesia rata-rata kadar hara jerami padi adalah 0.4% N, 0.02 %P, 1.4 %K dan 5.6% Si dan jerami padi mengandung 40-43% C (Makarim 2007). Dari hasil karakterisasi awal diperoleh rasio C/N sebesar 76 untuk jerami kering. Rasio C/N jerami mengalami penurunan setelah dicampur *sludge*. Penurunan pada jerami:*sludge* komposisi 3:5 menjadi 35.7 dan pada jerami:*sludge* komposisi 5:3 menjadi 32.17. Nilai tersebut masih terlalu tinggi dan tidak sesuai dengan rasio yang ditetapkan untuk proses anaerobik (digesti) yaitu 25-30.

Selain sebagai sumber nitrogen bagi mikroorganisme, kotoran sapi digunakan sebagai sumber inokulum bagi bakteri metanogen yang akan merombak asam asetat, CO₂, dan H₂ menjadi metana. Keberadaan bakteri di dalam usus besar ruminansia membantu proses fermentasi sehingga proses pembentukan biogas dapat dilakukan lebih cepat (Sufyandi 2001).

4.2. PENGARUH KOMPOSISI SUBSTRAT

4.2.1 PRODUKSI BIOGAS

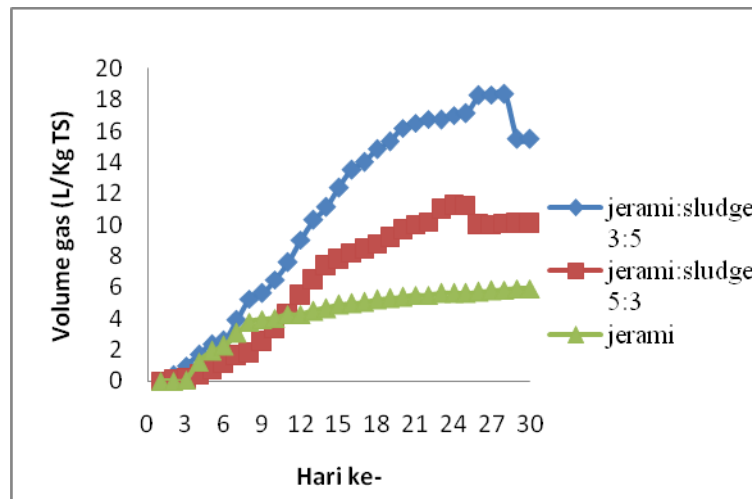
Biogas yang dihasilkan dari masing-masing perlakuan dapat dilihat di lampiran. Adapun produksi gas disajikan oleh Gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa jerami:*sludge* komposisi 3:5 memiliki produksi gas yang lebih banyak baik pada proses 1 maupun proses 2. Banyaknya gas yang dihasilkan sebesar 3.29714 L/kg Biomassa pada proses 1 dan 1.608 L/kg Biomassa pada proses 2. Perbedaan ini bisa jadi disebabkan oleh kondisi lingkungan yang berbeda, karena tidak dilakukan kontrol apapun terhadap faktor lingkungan, hanya saja suhu dijaga stabil pada rentang mesofilik. Menurut penelitian Hartono dan Kurniawan (2009), laju produksi biogas yang terbuat dari komposisi bahan jerami (75%) dan kotoran kerbau (25%) menghasilkan gas 6,5 ml/jam atau 0,156 liter/hari dengan waktu fermentasi selama 60 hari. Menurut Arati (2009) produksi biogas dengan bahan jerami berkisar antara 250-350 liter/kg TS dengan waktu fermentasi 30 hari.

Adapun gas yang dihasilkan oleh penelitian Prajayana (2011) dengan bahan yang sama yaitu jerami menghasilkan gas sebesar 1.60 L/kg biomassa. Pada penelitian ini

ternyata menghasilkan gas yang melebihi hasil tersebut. Hal ini bisa jadi disebabkan oleh kondisi *sludge* yang telah mengalami berbagai proses di dalam unit pengelolaan limbah. Sama halnya dengan kotoran yang telah mengalami pemasakan di dalam perut ruminansia. *Sludge* banyak mengandung zat pengurai yang baik untuk menghidrolisis bahan yang masih baru. Selain itu, kondisi bahan yang lebih berair berpengaruh pada peningkatan produksi gas seperti yang telah dibahas sebelumnya. Adanya pengecilan ukuran juga berdampak pada peningkatan produksi gas ditambah karena berarti mengurangi kerja mikroorganisme dalam fase aklimatisasi (penyesuaian).

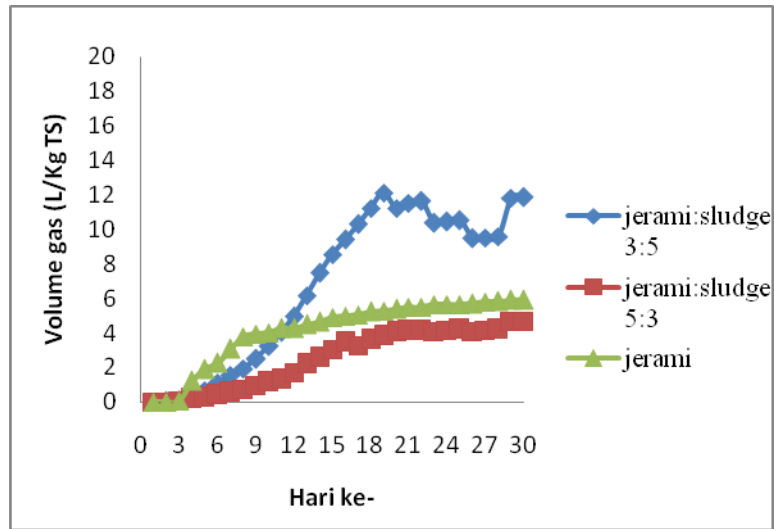
Menurut Sulaeman (2007), bahan dengan ukuran lebih kecil akan lebih cepat terdekomposisi daripada bahan dengan ukuran yang lebih besar. Hal tersebut dikarenakan bahan dengan ukuran lebih kecil memiliki luas kontak permukaan yang lebih besar dibandingkan bahan berukuran besar. Pengecilan ukuran sebagai perlakuan awal berpotensi menghasilkan biogas yang secara signifikan meningkat. Agar didapat keseragaman kecepatan penguraian, maka ukuran bahan dapat dibuat menjadi lebih kecil dengan cara dicacah manual atau mekanis (menggunakan mesin). Dengan begitu akses bagi substrat terhadap enzim akan lebih baik (Romli 2010).

Yadvika *et al.* (2004) menyatakan bahwa untuk meningkatkan hasil biogas dalam proses fermentasi anaerobik, maka bahan baku substrat perlu dilakukan *pre-treatment*. *Pre-treatment* ini dimaksudkan untuk menghancurkan struktur organik kompleks menjadi molekul sederhana, sehingga mikroba lebih mudah mendegradasinya. Salah satu *pre-treatment* adalah *pre-digestion* bahan baku. Semakin kecil ukuran suatu bahan maka bidang sentuh bahan akan semakin luas sehingga akan mempercepat laju reaksi karena banyak bagian bahan yang saling bertumbukan secara efektif (intim) yang menyebabkan proses degradasi bahan organik menjadi optimum. Berdasarkan literature tersebut, maka jerami yang digunakan diberikan *pre-treatment* berupa pencacahan dengan ukuran 0.1-0.5 cm.



(a) 1st running

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



(b) 2nd running

Gambar 3. Produksi gas

Gambar tersebut juga menerangkan bahwa produksi gas rata-rata kumulatif semakin lama meningkat. Pada jerami:sludge komposisi 3:5 gas sudah mulai dihasilkan pada hari pertama dan pada jerami:sludge komposisi 5:3 pada hari kedua. Namun, produksi gas yang besar diawal proses bukan berarti memiliki kandungan metan (CH_4) yang besar. Bisa jadi gas yang dihasilkan adalah CO_2 atau H_2S . Mengacu pada pernyataan Care (2011), gas yang pertama terbentuk belum bisa dimanfaatkan karena didominasi oleh CO_2 , selanjutnya biogas terbentuk pada hari ke 4–5 sesudah biodigester terisi penuh dan mencapai puncak pada hari ke 20–25. Paimin (2000) juga menyebutkan bahwa biogas terbentuk setelah hari ke-5. Oleh karena itu, untuk memastikan kandungan gas yang terbentuk perlu dilakukan gas *chromatography*. Alternatif lain untuk mengetahui kandungan metan yaitu melalui uji bakar. Hanya saja pada penelitian ini gas yang terbentuk tidak ditampung melainkan dibuang begitu saja sehingga ketika dilakukan uji bakar, tidak mencukupi. Produksi gas optimum pada jerami:sludge komposisi 3:5 cenderung lebih tidak stabil jika dibandingkan dengan jerami:sludge komposisi 5:3. Menurut penelitian Kota (2009), produksi gas optimum dari bahan jerami padi berlangsung pada selang hari ke tujuh hingga hari ke 21.

Produksi biogas juga bervariasi disebabkan oleh variasi sifat-sifat biokimia. Dua atau lebih bahan-bahan dapat digunakan bersama-sama dengan beberapa persyaratan produksi gas atau pertumbuhan normal bakteri metan yang sesuai. Beberapa sifat input ini mempunyai dampak yang nyata pada tingkat produksi gas, seperti nisbah C/N, pengadukan dan konsistensi input, dan padatan tak stabil (Abdullah, dkk 1998).

Di samping itu, perlu diketahui bahwa proses degradasi bahan organik tak larut (partikulat) seringkali dibatasi oleh laju proses hidrolisis bahan tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan proses penanganan awal yang tepat untuk mengubah karakteristik *sludge* maupun substrat yang digunakan sehingga lebih mudah diakses oleh bakteri anaerobik

(Romli 2010). Hipotesis menunjukkan bahwa kadar substrat yang tinggi seharusnya mengakibatkan efisiensi perombakan bahan yang tinggi sehingga biogas yang dihasilkan harusnya semakin banyak. Hal ini bisa saja terjadi karena menurut Gijzen (1987) di dalam Rohim (1991), ternyata tingkat konversi asam lemak menguap makin rendah pada tingkat kadar substrat yang lebih tinggi. Namun penelitian menunjukkan jerami: *sludge* komposisi 3:5 yang menghasilkan gas terbanyak. Hal ini disebabkan tingginya produksi asam dalam tahapan proses yang cukup lama yang menyebabkan kondisi lingkungan menjadi asam. Romli (2010) memperkuat pernyataan tersebut bahwa secara eksperimental telah dibuktikan bahwa akumulasi asam laktat terjadi ketika reaktor anaerobik mengalami lonjakan beban organik. Pada kondisi demikian, berpengaruh juga pada nilai pH yakni dibawah netral yang berakibat bakteri metanogenik tidak dapat bekerja dengan baik, bahkan mati.

Menurut Buyukkamaci dan Fillibeli (2004), nilai pH pada awal perlakuan menunjukkan proses pengasaman dan perubahan bahan organik. Keasaman ini kemungkinan terjadi karena aktivitas bakteri asetogenik. Perubahan pH menjadi basa menandakan adanya perombakan bahan organik, yaitu proses metagonesis yang menggunakan asam asetat, CO₂, dan hidrogen untuk menghasilkan metana sehingga nilai keasaman berangsur-angsur akan menuju pH yang lebih basa. Perubahan pH menjadi 8.5 masih dalam taraf optimum produksi biogas, karena bakteri metanogen bisa tumbuh pada pH 6.5-8.5. Perolehan nilai pH bahan selama fermentasi diperlihatkan pada lampiran yang menunjukkan bahwa pH semakin asam dengan bertambahnya waktu.

Pembentukan biogas yang kecil bisa juga dipengaruhi oleh padatan total bahan. Romli (2010) menyebutkan bahwa total solid merupakan padatan terlarut dan tersuspensi, organik dan anorganik dalam limbah, berupa bahan kering (residu) dari proses penguapan sampel pada suhu 105 °C selama 48 jam (bobot konstan). Penurunan padatan menguap total terjadi karena pembentukan asam yang berlangsung cepat. Beberapa hari menjelang berakhirnya proses fermentasi biasanya dicapai kondisi yang lebih stabil sehingga meningkatkan laju produksi gas kumulatif. Hal ini menunjukkan efisiensi perombakan padatan menguap sudah mencapai maksimal, meskipun belum semua padatan menguap terdekomposisi. Beberapa penyebab terjadinya tidak semua padatan terdekomposisi karena adanya penghambatan substrat atau inhibitor di dalam substrat.

Namun menurut Romli (2010), sulit menetapkan batas nilai konsentrasi tertentu suatu bahan bersifat toksik atau inhibitif, karena efek ini tidak hanya dipengaruhi oleh konsentrasinya tetapi juga oleh kondisi lingkungan, misalnya pH, suhu, dan konsentrasi bahan-bahan lain yang mungkin bersifat sinergis atau antagonis terhadap bahan toksik yang dimaksud.

Penelitian yang dilakukan oleh Karim (2005) dengan menggunakan fermentasi anaerobik disebutkan bahwa nilai TS akan mengalami penurunan antara 3.1-3.5% selama proses produksi biogas. Adapun nilai TS yang dihasilkan selama proses fermentasi berlangsung dapat dilihat pada lampiran. Penurunan TS yang tidak konsisten ini, bahkan ada yang mengalami peningkatan berdampak pada gas yang dihasilkan. Adapun nilai TS yang dihasilkan berkisar antara 13-57 % dengan persen penurunan yang fluktuatif.

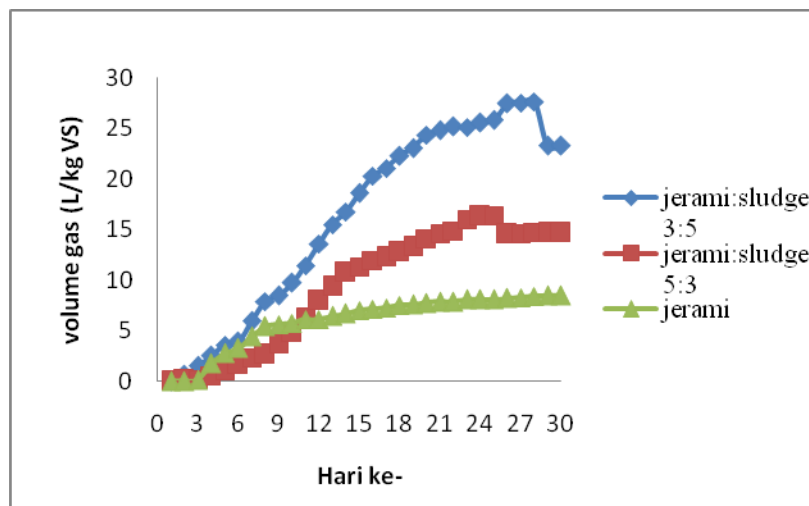
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

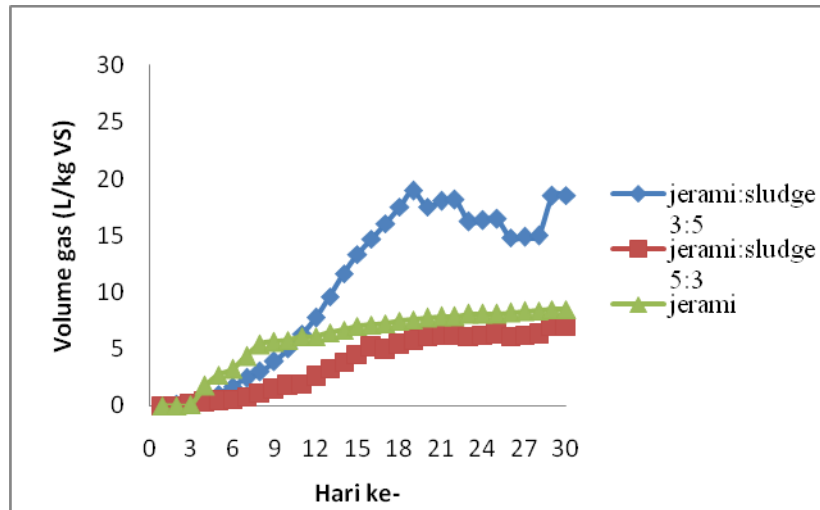
4.2.2 PENURUNAN PADATAN ORGANIK (TVS (db))

Produksi gas yang dihasilkan berdasarkan nilai VS ditunjukkan oleh Gambar 4. Berdasarkan gambar tersebut, gas yang dihasilkan semakin lama semakin meningkat hingga akhirnya kembali turun yang menandakan bahwa bahan organik telah habis dihidrolisis oleh mikroorganisme. Produksi gas terbanyak baik proses 1 maupun proses 2 dihasilkan oleh jerami:sludge komposisi 3:5 yakni 27.67816 L/kg VS (proses 1) dan 18.93871 L/kg VS (proses 2). Prajayana (2011) dalam penelitiannya menghasilkan gas sebesar 8.4890 L/g VS. Jika dibandingkan, maka produksi gas campuran jerami dengan sludge berdasarkan padatan tak jenuh memiliki hasil yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena tingginya padatan organik tak stabil yang terkandung dalam sludge. Hal ini sesuai dengan Widodo dkk (2006) yang menjelaskan bahwa potensi produksi biogas dari bahan-bahan organik, dapat dikalkulasi berdasarkan kandungan padatan tak stabil. Semakin tinggi kandungan padatan tak stabil dalam satu unit volume dari kotoran sapi segar akan menghasilkan produksi gas yang lebih banyak.

Fraksi *Volatile Solid* (VS) dalam digester anaerob merupakan parameter yang penting dan dapat digunakan untuk perhitungan pembebanan. Semakin tinggi konsentrasi VS semakin tinggi pula pembebanan. VS merupakan bahan makanan untuk proses hidrolisis dan pembentukan asam secara anaerob (Hartono 2009). *Volatit solid* (VS) adalah jumlah padatan yang menguap pada bahan dalam pembakaran di atas suhu 550 °C atau disebut padatan tidak stabil. Padatan yang menguap berasal dari kandungan organik bahan. Menurut Boullaghui *et al.* (2003) dalam Rahman (2007) menjelaskan bahwa pada proses produksi biogas secara anaerobik, terjadi penurunan kandungan TVS dengan efisiensi pendegradasian antara 58-75% pada akhir proses. Penurunan nilai TVS menunjukkan bahwa kandungan padatan organik telah dirombak menjadi senyawa *volatile fatty acid*, alkohol, CO₂ dan H₂ pada tahap asidogenesis, kemudian menjadi CH₄ dan CO₂ pada tahap metanogenesis.



(a) 1st running



(b) 2nd running
Gambar 4. Produksi gas

Menurut Palupi (1994), proses pengubahan substrat menjadi senyawa-senyawa pembentuk biogas akan menurunkan bahan padatan organik dalam sistem. Nilai padatan *volatile* dapat berkurang antara 2.07-10.5% pada proses pembuatan biogas secara anaerobik. Persen penurunan TVS yang cukup besar mengindikasikan bahan organik tersebut dapat didegradasi secara baik oleh mikroorganisme dan berpotensi menghasilkan biogas.

Ketidaksesuaian bakteri asam dan metana dapat menyebabkan produksi gas tidak optimal. Hal ini diperkuat oleh Romli (2010) bahwa masalah utama dalam proses konversi anaerobik adalah kemungkinan tidak seimbang populasi mikroorganisme dalam reaktor. Bakteri pembentuk metana memiliki laju pertumbuhan yang jauh lebih rendah dibanding bakteri pembentuk asam. Dominasi bakteri pembentuk asam menyebabkan kondisi asam pada reaktor yang dapat menurunkan aktivitas bakteri pembentuk metana atau bahkan menginhibisi.

Pengukuran nilai pH menunjukkan bahwa nilai pH pada komposisi 3:5 pada awal dimasukkan sampel adalah 6.2. Nilai pH ini lebih tinggi dari nilai pH pada percobaan yang dilakukan oleh Prajayana (2011) karena terdapat campuran sludge yang memiliki pH tinggi pada perlakuan jerami:sludge komposisi 3:5. Nilai pH terus naik hingga hari ke 24 (8.6) dan turun hingga hari ke-30 menjadi 8.2. pH lindi pada jerami:sludge komposisi 3:5 cenderung lebih stabil, diawali dengan nilai pH 7.3 dan relatif konstan pada kisaran 7.5-8.5 hingga hari ke 30.

Nilai pH jerami:sludge jerami:sludge komposisi 5:3 pada awal dimasukkan sampel adalah 6. Nilai pH awal ini relatif sama dengan jerami:sludge komposisi 3:5. Nilai pH terus naik hingga hari ke 30 menjadi 7.3. Nilai pH awal lindi dari perlakuan ini pada hari pertama hingga hari ke 3 mengalami kenaikan dari 6.5 menjadi 6.7. Pada hari ke 6 mengalami penurunan dan kembali stabil sampai hari ke 30 menjadi 7.9. Pada selang pH ini, bakteri yang tumbuh dengan baik adalah bakteri metanogen yang tumbuh pada pH

optimum 7.8-8.2. Oleh karena itu laju pembentukan metana jauh lebih cepat dibandingkan laju pembentukan asam sehingga gas yang dihasilkan akan meningkat.

Nilai pH pada awal perlakuan pertama menunjukkan proses pengasaman dan perombakan bahan organik. Keasaman ini kemungkinan terjadi karena aktivitas bakteri asetogenik (Buyukkamaci dan Filibeli 2004). Pembentukan asam asetat oleh bakteri asetogenik penting untuk kelanjutan produksi gas metana pada proses selanjutnya. Hal ini menunjukkan bahwa masih berada dalam tahap asidifikasi, dimana bakteri asetonik mendominasi proses dekomposisi bahan.

Perubahan pH menjadi basa menandakan adanya perombakan bahan organik, yaitu proses metanogenesis yang menggunakan asam asetat, CO_2 dan hidrogen untuk menghasilkan metana, sehingga nilai keasaman berangsur-angsur akan menuju pH yang lebih basa. Perubahan pH menjadi 8.5 masih dalam taraf optimum produksi biogas, karena bakteri methanogen bisa tumbuh pada pH 6.5-8.5 (Buyukkamaci dan filibeli 2004).

Dalam proses yang baik, bakteri asam dan bakteri metana memiliki hubungan yang saling menguntungkan. Asetogenesis dapat terjadi hanya jika tekanan parsial hidrogen dijaga tetap rendah oleh aktivitas bakteri pembentuk metana (Siregar 2005). Pada penelitian ini tidak dilakukan kontrol tekanan. Solusi yang ditawarkan pada permasalahan ini yaitu perlu dilakukannya pengendalian tingkat alkalinitas dan konsentrasi VFA agar dapat mencegah terjadinya situasi tersebut (Romli 2010).

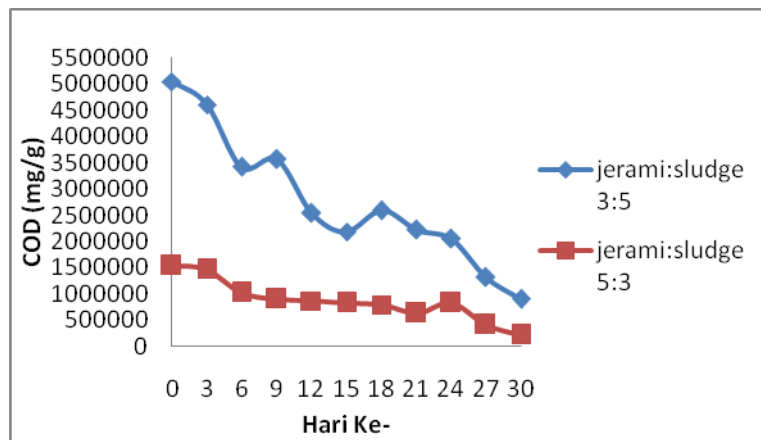
4.2.3 PERUBAHAN COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Pengukuran COD dilakukan terhadap dua produk fermentasi ini yaitu digestat dan lindi karena keduanya berperan dalam menggambarkan pembentukan biogas. Selengkapnya mengenai kandungan COD bahan dapat dilihat pada lampiran. Berdasarkan hasil pengamatan pada perubahan nilai COD pada digestat, seperti pada Gambar 5, tampak dari semua perlakuan nilai COD bahan padat jerami mengalami mengalami penurunan pada awal hingga pertengahan waktu percobaan. Penurunan ini menunjukkan terjadi penguraian substrat oleh bakteri ataupun mikroorganisme lainnya. Pada selang waktu tersebut bakteri berkembang biak untuk mengurai bahan organik. Pertengahan hingga akhir perlakuan terlihat adanya perubahan kecenderungan, yaitu mengalami kenaikan pada semua perlakuan. Kenaikan ini kemungkinan disebabkan oleh bertambahnya kandungan senyawa organik yang baru terdegradasi pada pertengahan perlakuan anaerob. Hal ini didukung dengan berkurangnya laju penurunan VS pada pertengahan hingga akhir perlakuan, dibanding dengan awal hingga pertengahan perlakuan. Kenaikan nilai COD bahan ini bukan berarti konsumsi senyawa organik oleh bakteri berhenti, namun laju penguraian senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana lebih cepat daripada konsumsi substrat oleh bakteri. Menurut Triyanto (1992), kenaikan nilai COD disebabkan oleh hadirnya senyawa-senyawa organik sederhana akibat hidrolisis polimer organik tetapi senyawa tersebut belum dirombak lebih lanjut oleh bakteri menjadi biogas.

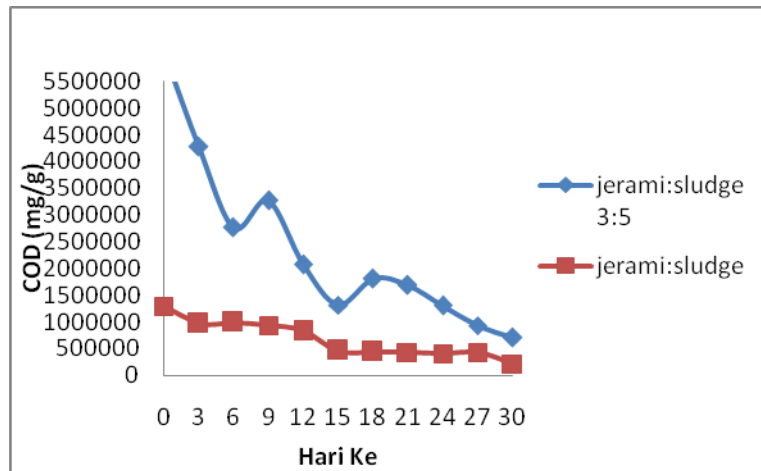
Fermentasi anaerob mampu mengolah beban cemaran organik hingga 80 kg COD/m^3 .hari dibandingkan dengan proses aerob yang hanya mampu mengolah beban cemaran organik kurang dari 1 kg COD/m^3 .hari. Pada tahap awal terjadi perombakan

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengurnai dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

bahan organik yang mudah terdekomposisi seperti karbohidrat, lemak, dan protein yang dilanjutkan dengan perombakan bahan organik sederhana hasil dekomposisi bahan-bahan seperti gula, asam lemak, dan asam amino yang terdapat pada substrat. Perombakan ini akan menyebabkan penurunan COD. Sebaliknya, hidrolisis polimer organik yang berjalan lambat akan menghasilkan senyawa-senyawa sederhana yang justru akan menaikkan nilai COD. Namun jika senyawa tersebut dirombak menjadi biogas, COD akan kembali turun. Semakin lama waktu fermentasi, kontak antara bakteri dengan limbah dan lumpur akan semakin lama dan waktu untuk menguraikan senyawa organik juga semakin lama. Penelitian yang dilakukan oleh Anonim (2011) dengan memfermentasikan *activated sludge* dan limbah cair selama 30 hari didapat penurunan COD sebesar 15.83 %. Romli (2010) menerangkan bahwa metode yang paling sederhana untuk memperkirakan perolehan biogas adalah melalui suatu analisa neraca masa berdasarkan nilai COD semua komponen yang masuk ke dalam dan keluar reaktor, termasuk biogas.



(a) 1st running

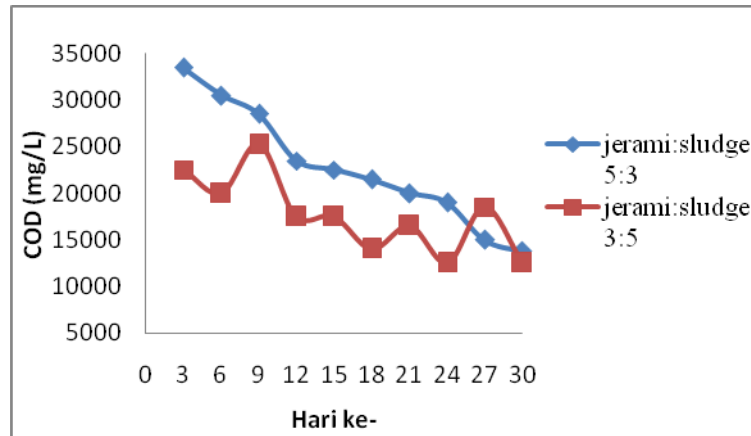


(b) 2nd running

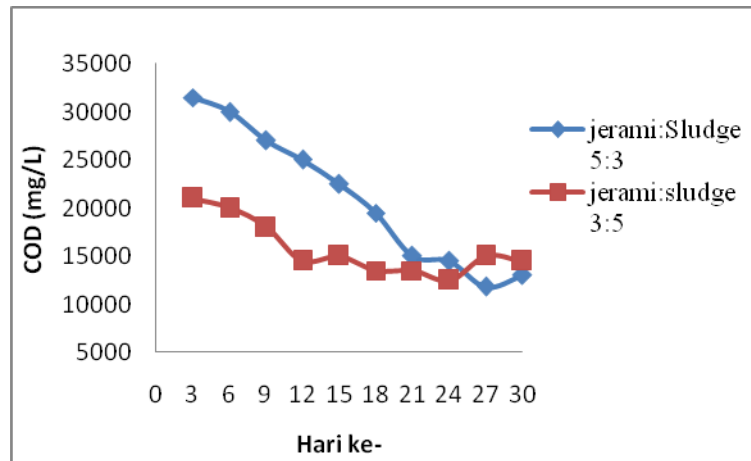
Gambar 5. Perubahan COD digestat

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang memurnikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



(a) 1st running



(b) 2nd running

Gambar 6. Perubahan COD Lindi

Pada pengamatan nilai COD lindi, seperti tampak pada Gambar 6, pada semua perlakuan mengalami penurunan dari awal hingga akhir perlakuan. Hal ini berbeda dibandingkan dengan nilai COD pada bahan padat jerami, dimana pada pertengahan hingga akhir percobaan perlakuan mengalami kenaikan nilai COD. Hal ini menunjukkan adanya proses perombakan substrat oleh bakteri.

Dohanyos dan Zabranska (2001) di dalam Romli (2010) menyatakan bahwa nilai COD dapat dikorelasikan dengan kandungan VS suatu sampel. Nilai VS dapat digunakan untuk memperkirakan produksi biogas. Namun, hubungan COD dan VS bersifat empiris, bervariasi dari satu sampel ke sampel lainnya. Nilai rasio COD/VS untuk *sludge* proses lumpur aktif berkisar antara 1.35-1.60 dan untuk *sludge* primer berkisar antara 1.0-1.6. Dengan demikian estimasi produksi biogas akan lebih tepat bila dihitung dari neraca masa berbasis COD.

Selain mendapatkan perkiraan mengenai bahan organik yang dapat direduksi oleh mikroorganisme, nilai COD dapat juga digunakan untuk menghitung kadar karbon substrat. Perhitungannya adalah sebagai berikut: 1 gr COD = 0.5 gr C.

4.3. KARAKTERISTIK DIGESTAT DAN LINDI

Di samping mengurangi volume buangan, teknologi biogas juga memberikan keuntungan lain berupa lumpur yang dikeluarkan dari effluent biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Romli (2010), digestat merupakan lumpur yang terdiri dari padatan tak tercerna, massa sel, nutrient terlarut, bahan inert, dan air. Digestat dengan kualitas baik dapat digunakan untuk perbaikan struktur tanah dan yang kurang baik dapat digunakan untuk *landfilling* atau bioremediasi tanah. Lindi adalah larutan dari hasil pembusukan bahan-bahan organik yang berasal dari tanaman, kotoran hewan, dan manusia yang kandungan unsur haranya lebih dari satu unsur. Menurut Schmidt (2005), kondisi *sludge* biogas mempunyai karakteristik sebagai berikut:

Tabel 13. Kondisi *sludge* biogas

COD (mg/l)	BOD/COD	% Kandungan unsur hara (utama)		
		N	P	K
500-2500	0.5	1.45	1.10	1.10

Dari proses fermentasi ini selain dihasilkan gas juga dihasilkan digestat (kompos) dan lindi. Limbah padat jerami padi yang difermentasi telah mengalami proses dekomposisi anaerobik. Secara teoritis digestat hasil fermentasi bahan bisa digunakan sebagai pupuk organik yang berguna bagi tanaman, sehingga dapat mengembalikan kembali (daur ulang) unsur hara kedalam tanaman. Karakteristik kualitas digestat dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Karakteristik digestat hasil fermentasi

No	Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	N (%)	K (%)	P (%)	pH
1	Perlakuan awal	76.9	8.1	0.7	36.3	0.2	7.3
2	Komposisi Jerami 3:5	72.0	13.2	1.4	38.4	0.4	8.2
3	Komposisi Jerami 5:3	67.8	13.6	1.8	31.7	0.6	8.6

Berdasarkan hasil pengamatan, seperti pada Tabel 14, karakteristik digestat hasil fermentasi pada perlakuan awal memiliki kadar air 76.9%, kadar abu 8.1%, N 0.7%, C 36.3%, P 0.2%, dan pH 7.3. Pada jerami:*sludge* komposisi 3:5 memiliki karakteristik, yaitu : kadar air 72.0%, kadar abu 13.2%, N 1.4%, C 38.4%, P 0.4%, dan pH 8.2. Pada jerami:*sludge* komposisi 5:3 memiliki karakteristik, yaitu : kadar air 67.8%, kadar abu 13.6%, N 1.8%, C 31.7%, P 0.6% dan pH 8.6.

Tabel 15. Karakteristik air lindi hasil fermentasi

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengurniakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

No	Sampel	N (ppm)	K (%)	P (ppm)	pH
1	Perlakuan awal	2700	0,2	68	8,2
2	Perbandingan Jerami 3:5	315	3,2	94	8,6
3	Perbandingan Jerami 5:3	124	1,2	72	8,0

Hasil pengamatan pada lindi hasil fermentasi, untuk perlakuan awal memiliki karakteristik yaitu : N 0.27%, C 0.2%, P 68 ppm dan pH 8.2. Pada jerami:*sludge* komposisi 3:5 memiliki karakteristik yaitu : N 315 ppm, C 3.2%, P 94 ppm dan pH 8.6. Pada jerami:*sludge* komposisi 5:3 memiliki karakteristik yaitu: N 124 ppm, C 1.2%, P 72 ppm dan pH 8.0. Standar kualitas pupuk organik adalah seperti tampak pada Tabel 16 berikut:

Tabel 16. Standar kualitas kompos

Parameter	Satuan	SNI 19-7030-2004 (Standar mutu kompos)
Total N	%	0,4
Nisbah C/N	-	10-25
P ₂ O ₅	%	0,1
K ₂ O	%	0,2
pH	-	6,8-7,5
KTK	Meq	--
P Kadar air.	%	≤50

Ada beberapa parameter kualitas pupuk kompos, dari hasil pengamatan pada digestat hasil fermentasi, pada beberapa parameter mendekati kualitas standar pupuk kompos sesuai SNI 19-7030-2004. Pada parameter kadar P dan N sesuai dengan standar. Namun, pada kadar air serta pH nilainya masih lebih besar dari pada standar pupuk kompos. Pada lindi hasil fermentasi nilai kandungan P dan N masih terlalu kecil dibandingkan dengan standar yang ada. Proses fermentasi limbah padat jerami padi menjadi selain menghasilkan biogas, juga kompos hasil fermentasinya pun dapat dimanfaatkan kembali dan dapat mendaur ulang unsur hara kedalam tanah. Berdasarkan nilai tersebut, *sludge* yang dihasilkan belum cukup memenuhi baku mutu yang ditetapkan untuk dapat digunakan sebagai pupuk organik. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses *composting* lanjutan untuk mendapatkan pupuk yang mendekati standar mutu.