DRAFT PATEN

SISTEM DAN METODE UNTUK MEMPERCEPAT LAJU PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH TAPIOKA DAN LIMBAH PETERNAKAN

Oleh

Prof. Dr. Ir. Sunarso, MS (Ketua)
Dr. Ir. Budiyono, MSi (Anggota)

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2011

Deskripsi

SISTEM DAN METODE MEMPERCEPAT LAJU PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH TAPIOKA DAN LIMBAH PETERNAKAN

Bidang Teknik Invensi

Invensi ini berkaitan dengan proses untuk mempercepat laju produksi biogas dengan cara mencampur limbah tapioka dengan limbah kotoran ternak dalam sistem biocodigester anaerobik. Proses tersebut meliputi penyiapan cairan inokulum, pencampuran limbah tapioka, limbah kotoran ternak dan inokulum, dan produksi biogas di dalam biocodigester.

Latar Belakang Invensi

Telah lama diketahui bahwa biogas yang kaya akan gas metana akan terbentuk bila senyawa organik dari berbagai sumber didekomposisi secara biokimia dalam kondisi anaerobik. Tempat terjadinya proses dekomposisi anaerobik sering disebut dengan biodigester. Proses dekomposisi ini melibatkan sejumlah bakteri yang bekerja secara simultan melalui beberapa tahap reaksi biokimia yaitu hidrolysis, acidogenesis, acetogenesis, dan metanogenesis. Oleh karena itu, keberadaan ke-empat kelompok bakteri tersebut merupakan faktor paling menentukan yang mengendalikan laju produksi biogas secara keseluruhan. Satu masalah penting yang harus dipecahkan adalah rendahnya laju produksi biogas.

Berbagai upaya untuk meningkatkan produksi biogas telah diusulkan dan dikembangkan. Metode yang telah diusulkan dari beberapa patent sebelumnya antara lain (i). memberikan inokulum mikroba (US Patent No. 20080124775); (ii). Menyediakan media yang cocok untuk pertumbuhan mikroba (US Patent No. 4476224); (iii). menyediakan precursor utama pembentukan metana (U.S. Patent No. 3,383,309); (iv). Pendekatan perancangan biodigester (US Patent No. 4,722,741;

US Patent No. 6,716,351; dan US Patent No. 3981800).

Kornel et al. dalam US Patent No. 20080124775 tertanggal 29 Mei 2008 berjudul “Method for Increased Production of Biogas” mengusulkan metode mempercepat laju produksi biogas menggunakan biomassa yang mengandung bakteri asetogenik dan metanogenik termofilik. Bakteri diinokulasikan sebelum maupun selama proses produksi biogas. Menurut paten ini, substansi yang ditingkatkan bukan laju produksi biogas tetapi kandungan metana di dalam biogas (klaim 1), bakteri yang digunakan adalah kandungan bakteri yang digunakan adalah kultur murni *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* (klaim 3 dan 4) maupun bakteri yang berasal dari cairan kotoran hewan (*liquid manure*), lumpur air limbah maupun unit pengolahan limbah (klaim 6).

Metode yang berbeda untuk meningkatkan produksi biogas, dalam US Patent No. 4476224, tanggal 10 September 1984 yang berjudul “Material and method for promoting the growth of anaerobic bacteria”, Howard memperkenalkan cara meningkatkan produksi biogas dengan menyediakan media yang cocok untuk tumbuhnya mikroba di dalam biodigester. Menurut cara ini, mikroba anaerobiK akan tumbuh optimum bila di dalam nutrien disediakan bahan sebagai donor hidrogen dan media perpindahan electron. Bahan hydrogen donor diperoleh dari dinding sel membrane bakteri terpilih seperti *Escherichia coli, Salmonella typhimurium, Gluconobacter oxydans, and Psuedomonas aeruginosa*, dengan konsnetrasi optimum antara 25 to 3000 mg/l. Bahan sebagai media perpindahan elektron diperoleh dari natrium laktat, natrium suksinat, natrium format, dan α glycerol phosphate.

Metode yang hampir sama dikembangkan oleh Seely dalam US Patent No. 4529701 tanggal 16 Juli 1985 yang berjudul “Product and process for stimulating bacterial action in an anaerobic digestion system”. Upaya meningkatkan laju pertumbuhan bakteri dilakukan dengan menyediakan media yang tepat yaitu ditambahkan bahan pengatur inhibisi dan senyawa yang mengandung pyrophosphate anorganik. Dengan bantuan kedua

senyawa ini dalam jumlah yang cukup akan menstimulir pertumbuhan mikroba dan meningkatkan produksi biogas.

Menurut U.S. Patent No. 3,383,309, laju produksi metana ditingkatkan dengan menyediakan precursor utama pembentukan metana yaitu gas hydrogen. Menurut cara ini, hydrogen memegang peranan penting dalam pembentukan metana oleh bakteri metanogesis. Substansi dari patent ini adalah produksi metana akan meningkat bila di dalam biodigester diinjeksikan gas hydrogen dengan tekanan tertentu.

Dalam US Patent No. 4752584 tertanggal 21 Juni 1988 berjudul “Process for the production of inoculum for anaerobic fermentation of coenzyme B_{12}” mengusulkan cara memproduksi inokulum yang akan digunakan untuk proses fermenasi anaerobik. Substansi patent ini tidak mengusulkan cara meningkatkan produksi biogas akan tetapi cara fermentasi untuk memproduksi inokulum yang cocok untuk produksi coenzyme B_{12}.

Pada sisi yang lain, Hayes *et al.* dalam US Patent No. 4,722,741, tertanggal 2 Pebruari 1988 berjudul “Production of high methane content product by two phase anaerobic digestion” mengusulkan cara meningkatkan kandungan gas metana dalam biogas dengan menggunakan perbaikan rancangan biodigester 2 tahap. Substansi dari patent ini tidak meningkatkan laju produksi biogas tetapi hanya meningkatkan kandungan metana melalui pendekatan perancangan biodigester untuk memisahkan tahap hidrolisis dan asidogenesis dengan tahap metanogenesis. Dalam bentuk lain, Fassbender dan Alexander dalam US Patent No. 6,716,351 tertanggal 6 April 2004 berjudul “Enhanced *biogas production* from nitrogen bearing feed stocks” memperkenalkan cara meningkatkan produksi biogas. Sistem digester terdiri dari dua tahap. Digester tahap pertama digunakan sebagai tempat hidrolisis dan asetogenesis terhadap substrat yang kaya akan nitrogen diikuti dengan tangki untuk pemisahan ammonia. Aliran substrat dengan kandungan ammonia rendah selanjutnya masuk ke digester tahap kedua untuk dikonversi menjadi metana oleh

bakteri metanogenesis. Substansi dari patent terakhir ini meningkatkan produksi biogas melalui pendekatan perancangan biodigester untuk memperkecil dampak negatif akibat inhibisi amonia.

Metode yang lain ditemukan oleh Jay dalam US Patent No. 3981800 tanggal 21 September 1976, berjudul “High quality methane gas through modified anaerobic digestion”. Menurut metode ini, kandungan gas metana di dalam biogas ditingkatkan dengan menyerap gas CO_2 dari biogas menggunakan lumpur sisa pencernaan biodigester. Setelah dilakukan pelucutan gas CO_2 yang terserap, lumpur bisa digunakan kembali untuk pencernaan anaerobik di dalam biodigester. Dengan menggunakan metode ini, biogas yang terbentuk mempunyai kandungan metana di atas 90 %.

Sampai saat ini, dari penelusuran patent yang ada, belum ditemukan sistem percepatan produksi biogas dengan cara mencampur limbah tapioka dengan limbah peternakan untuk menyediakan kebutuhan nitrogen ideal untuk pertumbuhan. Substansi dari invensi ini adalah peningkatan laju produksi biogas dengan cara menyediakan kebutuhan nitrogen yang cukup dengan cara mencampur limbah tapioka dan limbah peternakan. Oleh karena itu, jelas bahwa substansi dari invensi ini sangat berbeda dengan invensi-invensi yang sudah dipatenkan sebelumnya.

Ringkasan Invensi

Invensi ini bertujuan untuk menyediakan suatu metode untuk mempercepat laju produksi biogas dengan cara mencampur limbah kotoran ternak dengan limbah cair tapioka agar tersedia kebutuhan nitrogen ideal untuk pertumbuhan mikroba. Proses tersebut meliputi penyiapan cairan inokulum, pencampuran kotoran dengan limbah cair tapioka, dan produksi biogas di dalam biocodigester.

Suatu metode untuk mempercepat laju produksi biogas dari kotoran hewan dan limbah cair tapioka di dalam

biocodigester anaerobik sesuai dengan invensi ini, dimana sumber mikroba anaerobik diperoleh dari cairan rumen ternak ruminansia.

Suatu metode untuk mempercepat laju produksi biogas dari kotoran hewan dan limbah cair tapioka di dalam biocodigester anaerobik sesuai dengan invensi ini, dimana perbandingan berat antara limbah cair tapioca dengan limbah kotoran ternak paling sedikit 2:1.

Suatu metode untuk mempercepat laju produksi biogas dari kotoran hewan di dalam biodigester anaerobik sesuai dengan invensi ini, dimana kandungan cairan rumen di dalam campuran umpan biocodigester antara 5 hingga 50 %, lebih diutamakan antara 25 hingga 50 %.

Suatu metode untuk mempercepat laju produksi biogas dari kotoran hewan di dalam biocodigester anaerobik sesuai dengan invensi ini, dimana kandungan padatan total yang dinyatakan dengan bahan kering total di dalam umpan biocodigester di bawah 15 %, lebih diutamakan antara 7 hingga 9 %.

Suatu metode untuk mempercepat laju produksi biogas dari kotoran hewan di dalam biocodigester anaerobik sesuai dengan invensi ini, dimana temperatur biocodigester berkisar antara temperature kamar hingga 45 ^{o}C, lebih diutamakan antara 38 hingga 40 ^{o}C.

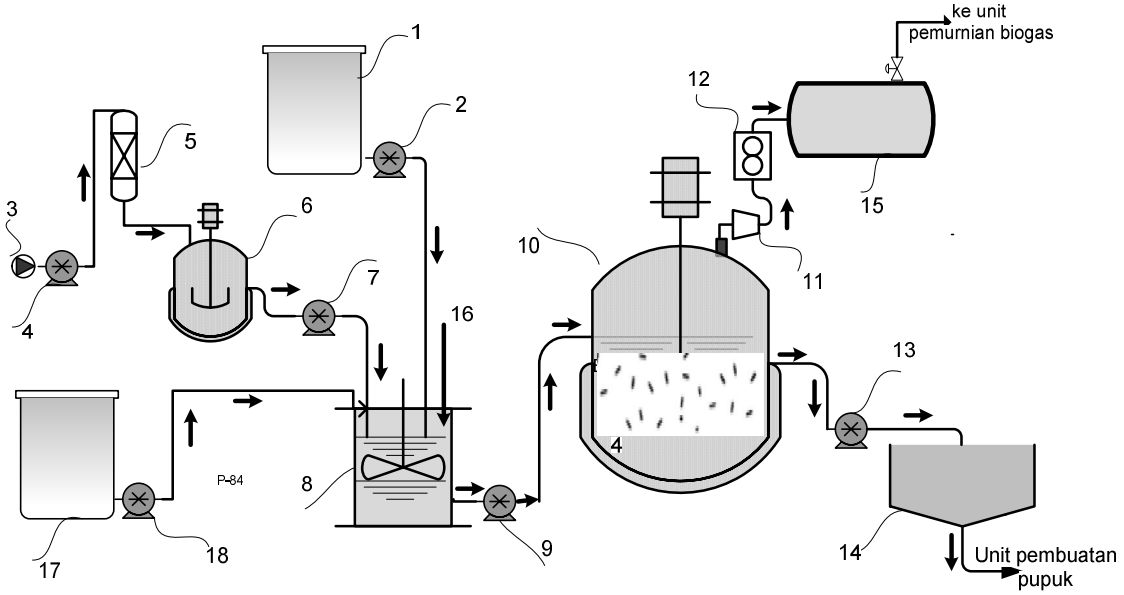
Suatu metode untuk mempercepat laju produksi biogas dari kotoran hewan di dalam biocodigester anaerobik sesuai dengan invensi ini, dimana proses bisa dijalankan baik secara batch maupun secara kontinyu.

Uraian Singkat Gambar

Untuk memberikan ilustrasi dari invensi ini, terlihat pada gambar suatu bentuk yang sederhana sehingga lebih mudah dipahami. Perlu ditekankan bahwa invensi ini tidak terbatas pada rangkaian sistem dan instrumentasi seperti pada gambar terlampir.

Merujuk pada gambar 1, cairan rumen yang digunakan

untuk inokulum mikroba dalam sistem ini (3) diperoleh dari ternak ruminansia yang telah disembelih dialirkan menggunakan pompa cairan rumen (4) menuju cartridge filter 50 mikron (5) untuk di saring agar diperoleh kualitas yang seragam. Cairan rumen selanjutnya masuk ke tangki starter (6) untuk disimpan pada rentang suhu kamar hingga 45 C lebih diutamakan 38.5 C. Dengan menggunakan pompa (7) cairan rumen dipompa dari tanki starter (6) menuju tangki pencampur (8). Di dakam tangki pecampur (8) kotoran hewan/feses (16) dicampur dengan cairan rumen dan air yang dialirkan dengan pompa (2) dari tanki air (1). Campuran antara Feses (16), air sumur dan cairan rumen menghasilkan kadar cairan rumen berkisar antara 1 hingga 50 % lebih diutamakan antara 25 hingga 50 % serta menghasilkan kadar bahan kering antara 1 hingga 15 % lebih diutamakan antara 7 hingga 9 %. Slurry yang terbentuk di tangki pencampur selanjutnya dipompa menggunakan pompa slurry (9) menuju biodiegester (10) untuk mengalami proses pembentukan biogas. Temperatur di dalam digester dikendalikan dalam rentang suhu kamar hingga suhu 45 ^{o}C lebih diutamakan antara 38 hingga 40 ^{o}C. Volume biogas yang terbentuk di dalam biocodigester diukur dengan rotameter (12) setelah dialirkan menggunakan kompresor (11) menuju tanki penyimpan biogas (15). Lumpur padatan sisa dari biocodigester dipompa menggunakan pompa lumpur (13) menuju bak penyimpan sementara lumpur digester (14) untuk selanjutnya bisa digunakan di unit pembuatan pupuk organik.

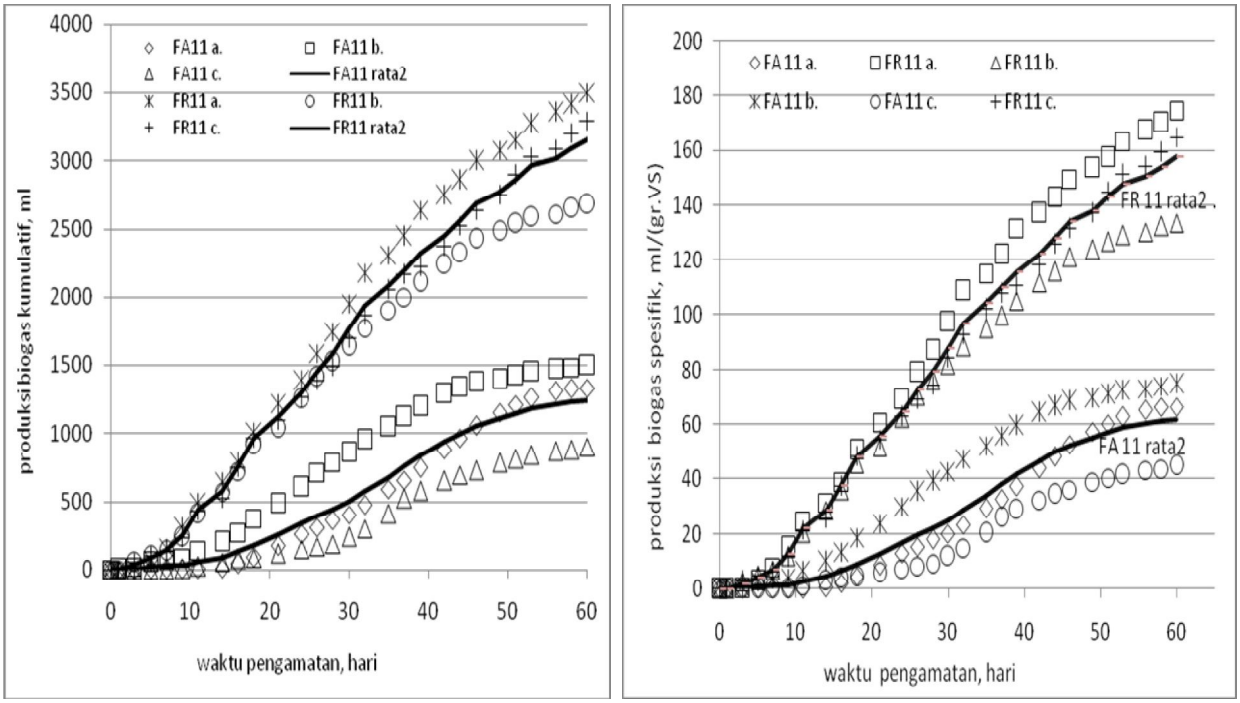


Gambar 1 adalah ilustrasi skematik rangkaian proses dari invensi ini.

Uraian Lengkap Invensi

Pada dasarnya, produksi biogas dari kotoran ternak bukan merupakan hal baru. Secara fundamental, proses produksi biogas di dalam biocodigester anaerobik melibatkan sejumlah bakteri yang bekerja secara simultan melalui beberapa tahap reaksi biokimia yaitu **Hidrolysis, Acidogenesis, Acetogenesis, dan Metanogenesis (**U.S. Patent. No. 5,529,692; Speece, 1996). Oleh karena itu, **keberadaan ke-4 jenis bakteri ini merupakan faktor paling menentukan yang mengendalikan laju produksi biogas secara keseluruhan.** Secara konvensional, proses produksi biogas saat ini menggunakan sumber bakteri yang berasal dari kotoran ternak, air selokan buangan rumah tangga, dan lumpur dari sebuah unit produksi biogas yang telah beroperasi. Sampai saat ini, dari telah semua paten yang ada, belum ditemukan penggunaan potensi cairan rumen untuk meningkatkan laju produksi biogas. Menurut Aurora (1983), c**airan rumen memiliki kandungan mikroba anaerobik sangat tinggi yaitu bakteri, protosoa, dan fungi masing-masing sebesar 10^9-10^{11}, 10^4-$10^{6,}$ dan 10^4 sel per mililiter**.

Studi pendahuluan produksi biogas dari kotoran ternak dengan memanfaatkan mikroba cairan rumen ternak rumiansia (sapi) sebagai inokulum proses anaerobik telah dilakukan. Biocodigester anaerobik skala laboratorium dengan volume 400 ml telah digunakan untuk produksi biogas dari kotoran ternak sapi. 100 (Seratus) gram kotoran sapi (Feses) dicampur dengan 100 ml cairan rumen (FR 11) dimasukkan ke dalam biocodigester. Sebagai pembanding yang mewakili biocodigester konvensional, kotoran sapi dengan berat yang sama dicampur dengan 100 ml air sumur (FA 11). Volume biogas yang terbentuk diamati sebagai fungsi waktu selama 60 hari. Penelitian masing-masing dilakukan dengan 3 kali ulangan. Hasil pengukuran produksi biogas kumulatif yang dinyatakan dalam mililiter selengkapnya tersaji pada Gambar 2 (a). Dalam bentuk lain, produksi biogas dinyatakan sebagai produksi biogas spesifik dalam mililiter per gram padatan volatil (ml/gVS) selengkapnya tersaji pada Gambar 2 (b).



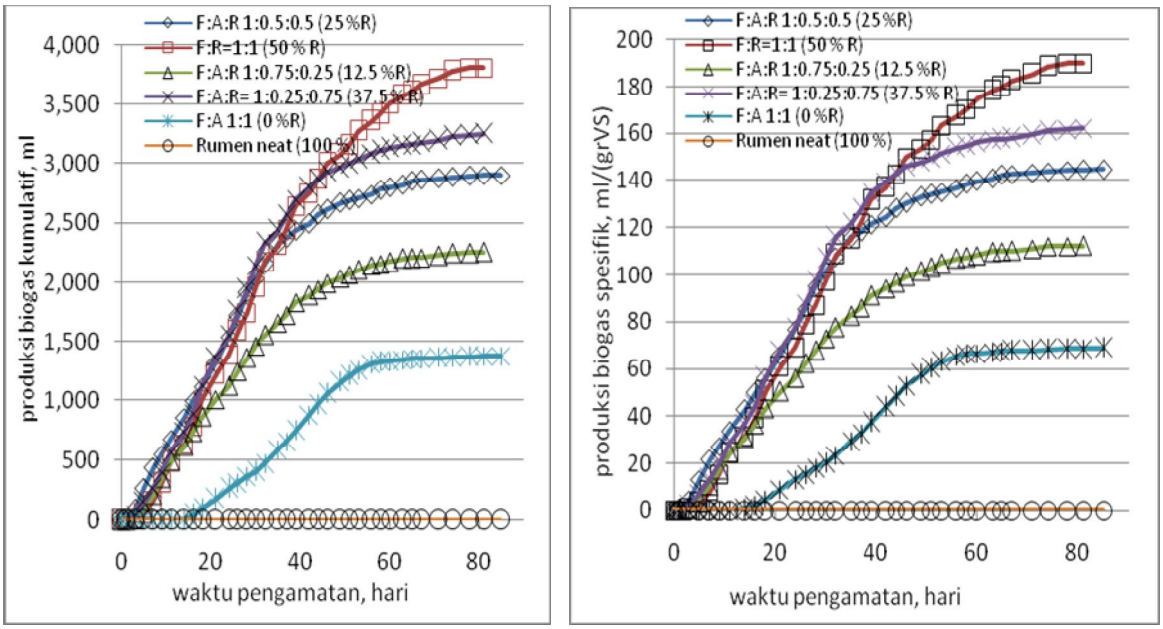
(a) (b)

Gambar 2. Produksi biogas kumulatif sebagai fungsi waktu pengamatan. Suhu = suhu kamar; berat bahan kering (padatan volatil, VS) kotoran umpan 20,05 %

Gambar 2 menunjukkan bahwa cairan rumen memberikan

pengaruh secara signifikan terhadap produksi biogas. Pada waktu pengamatan 60 hari, kotoran yang dicampur dengan **cairan rumen (FR 11) memberikan produksi biogas kumulatif hingga 2,5 kali lebih besar** bila dibandingkan dengan kotoran yang tanpa diberi cairan rumen (FA 11).

Kemampuan mikroba cairan rumen selanjutnya diuji pada berbagai konsentrasi. Perbandingan berat Feses, air dan cairan rumen (F:A:R) divariasikan hingga memperoleh kadar cairan rumen dari 0 % hingga 50 %. Volume kumulatif biogas diamati sebagai fungsi waktu selama 90 hari. Hasil pengamatan selengkapnya tersaji pada Gambar 3.



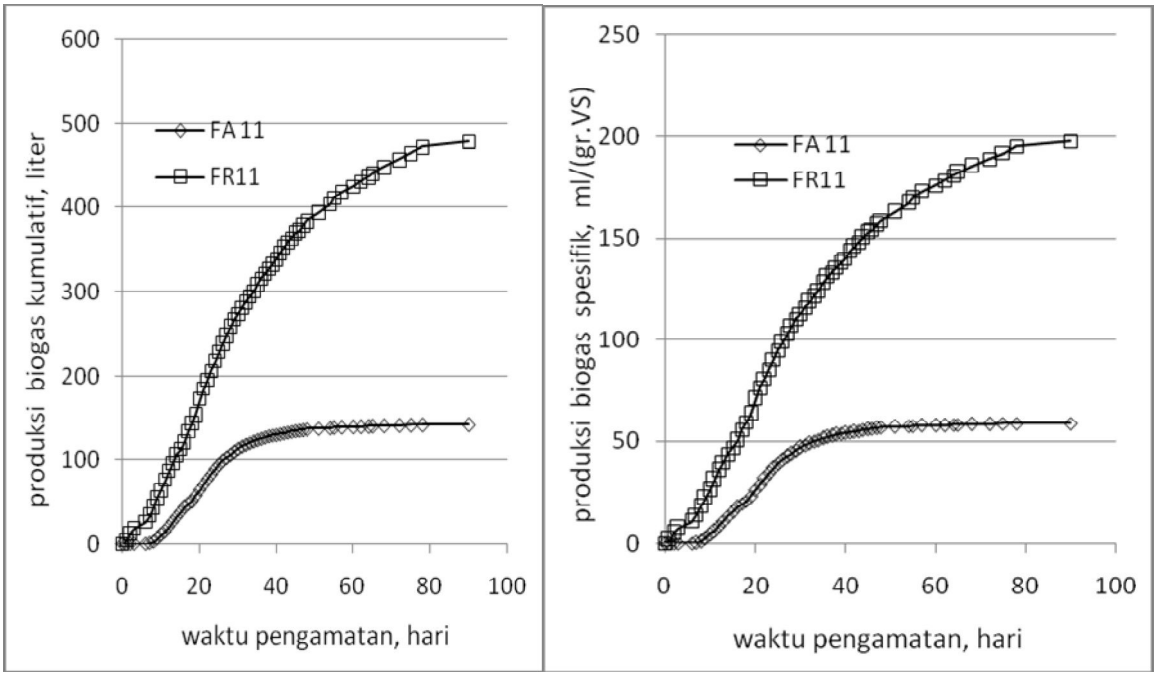
Gambar 3. Pengaruh perbandingan berat feses, air dan cairan rumen (F:A:R) terhadap produksi biogas

Gambar 3 menunjukkan secara konsisten pengaruh cairan rumen terhadap produksi biogas. Pada selang waktu pengamatan 90 hari perbandingan **FR 1:1 memberikan produksi biogas sekitar 2,5 kali lebi besar dibandingkan dengan perbandingan FA 1:1 (tanpa cairan rumen).**

Penelitian selanjutnya dilakukan pada volume biocodigester yang lebih besar yaitu 30 liter. 12 kilogram Feses dicampur dengan 12 liter cairan rumen (FR 11)

dibandingkan dengan 12 kilogram Feses dicampur dengan 12 liter air sumur (FA 11). Volume biogas yang terbentuk diamati sebagai fungsi waktu selama 90 hari. Hasil pengamatan volume biogas kumulatif yang dinyatakan liter dan dalam mililiter per gram padatan volatil (ml/gr.VS) selengkapnya tersaji pada Gambar 4 (a) dan (b).

Gambar 4 juga menunjukkan secara konsisten bahwa cairan rumen memberikan pengaruh secara signifikan terhadap produksi biogas kumulatif. Pada selang waktu pengamatan antara 60 hingga 90 hari, kotoran yang dicampur dengan cairan rumen (FR 11) memberikan **produksi biogas kumulatif berkisar antara 2,5 hingga 3 kali lebih besar** bila dibandingkan dengan kotoran yang tanpa diberi cairan rumen (FA 11).



(a). (b).

Gambar 4. Produksi biogas kumulatif sebagai fungsi waktu pengamatan pada volume biocodigester 30 liter. Suhu = suhu kamar; berat Feses 12 kg; kadar bahan kering sebagai padatan volatil (VS) dalam Feses 20,15 %.

Dengan asumsi bahwa laju produksi biogas di dalam biocodigester batch sebanding dengan laju pertumbuhan spesifik mikroorganisme metanogenik di dalam biocodigester, maka laju produksi biogas akan mengikuti Persamaan Gompertz

(Nopharatana *et al.,* 2007). Persamaan ini merupakan model matematis untuk pengamatan *time series*, yaitu pertumbuhan paling lambat pada saat awal dan akhir periode waktu pengamatan dan memiliki bentuk umum sebagai berikut.

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

Y = produksi biogas kumulatif, ml/(gVS) pada waktu t hari
A = produksi biogas maksimum, ml/(gVS)
U = laju produksi biogas maksimum, (ml/gVS.hari)
λ = waktu *lag phase*, hari
t = waktu kumulatif untuk produksi biogas, hari
e = bilangan Euler (*e* = 2.71828...)

Dengan menggunakan metode regresi non liniear, data yang diperoleh dari percobaan menggunakan biocodigester 30 liter di atas bisa diperoleh konstanta kinetika sebagaimana tersaji pada Tabel 1 sebagai berikut.

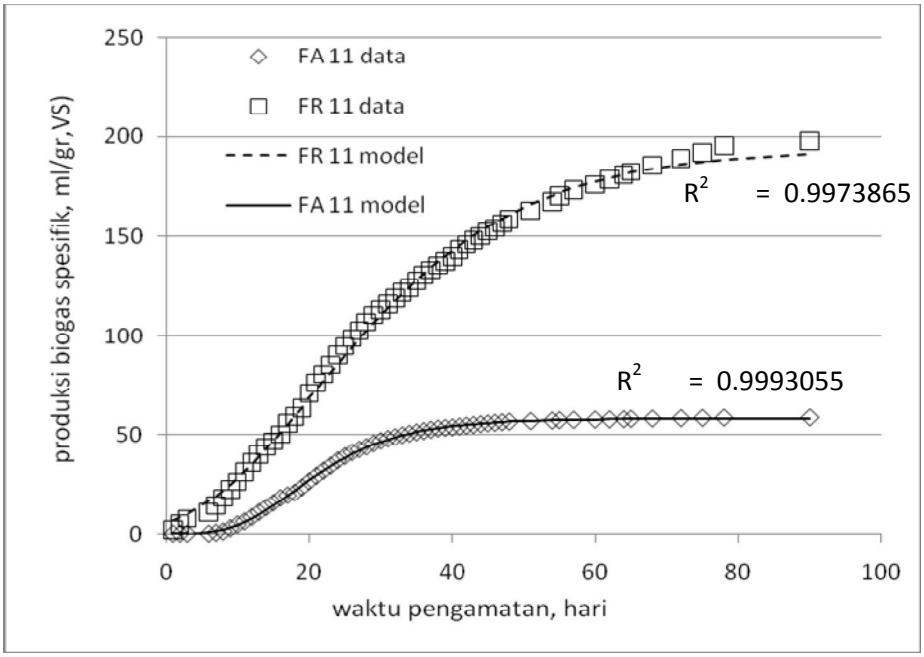
Tabel 1. Konstanta kinetika laju produksi biogas

Percobaan	**U, (ml/gVS.hari)**	**A, ml/(gVS)**	**λ, hari**
FR 11	4,3931	194,4443	4,4
FA 11	2,5969	58,1600	9,4

Tabel 1 memberikan bukti bahwa bila ditinjau dari segi kinetika, cairan rumen memberikan pengaruh nyata terhadap konstanta kinetika produksi biogas. Dengan adanya penambahan cairan rumen di dalam biocodigester (FR 11), akan memberikan konstanta laju produksi biogas (U), jumlah produksi biogas maksimum yang bisa diperoleh (A), dan waktu minimum terbentuk biogas (**λ**) masing-masing sebesar 4,3931; 194,4443; dan 4,4. Harga ini secara sangat signifikan berbeda bila dibandingkan dengan tanpa penambahan cairan rumen yaitu masing-masing sebesar 2,5969; 58,1600; dan 9,4. Dari data konstanta laju produksi biogas (U) dapat disimpulkan bahwa pemberian **cairan**

rumen menyebabkan laju produksi biogas menjadi hampir 2 kali lebih besar dibandingakan dengan tanpa cairan rumen.

Bila konstanta kinetika laju produksi biogas yang diperoleh dari Tabel 1 di atas dimasukkan ke dalam persamaan 1 dan dicocokkan dengan data hasil percobaan maka akan diperoleh data perbandingan antara hasil percobaan dengan hasil pemodelan sebagaimana tersaji pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan antara data hasil percobaan dengan pendekatan model kinetika produksi biogas

Gambar 5 menunjukkan bahwa model yang digunakan untuk menyatakan laju produksi biogas sangat sesuai dengan data hasil percobaan dengan koefisien regresi (R^2) masing-masing sebesar 0,9973865 dan 0,9993055. Semua hasil penelitian yang telah dipaparkan dimuka menjadi **bukti utama potensi pemanfaatan cairan rumen untuk peningkatan laju produksi biogas**.

Klaim

1. Suatu metode untuk mempercepat laju produksi biogas dari kotoran ternak dan limbah cair tapioka dalam sistem biocodigester, yang terdiri dari :

a. Menyediakan cairan rumen yang akan digunakan sebagai inokulum di dalam tangki penyimpan cairan rumen (6)
b. Menyediakan air yang akan digunakan untuk membuat larutan umpan dengan konsentrasi bahan kering tertentu di dalam tangki penyimpan air (1)
c. Menyediakan air limbah tapioka dalam tanki (17) yang akan dicampur dengan kotoran ternak di dalam tanki pencampur (8)
d. Mencampur kotoran hewan dengan air yang dialirkan dari tangki penyimpan air (1) dan cairan rumen yang dialirkan dari tangki penyimpan rumen (6) di dalam tangki pencampur (8)
e. Mengalirkan larutan campuran kotoran hewan, cairan rumen, dan air menuju biocodigester (10) yang berkerja anaerobik (tanpa adanya oksigen) untuk proses pembentukan biogas
f. Mengendalikan temperatur biocodigester antara temperatur kamar hingga 45 ^{o}C.

2. Metode menurut klaim 1, dimana konsentrasi cairan rumen di dalam umpan biocodigester antara 5 hingga 50 %, lebih diutamakan antara 25 hingga 50 %
3. Metode menurut klaim 1, dimana perbandingan berat antara limbah cair tapioca dengan kotoran ternak antara 1:1 sampai 1:2,5
4. Metode menurut klaim 1, dimana baik cairan rumen, kotoran ternak, dan limbah cair tapioka dicampur terlebih dahulu di dalam tangki pencampur maupun masing-masing dimasukkan secara terpisah ke dalam biocodigester
5. Metode menurut klaim 1, dimana cairan rumen yang digunakan baik mengalami perlakukan pendahuluan dengan disaring maupun digunakan secara langsung tanpa penyaringan terlebih dahulu
6. Metode menurut klaim 1, dimana konsentrasi padatan / bahan kering umpan biocodigester di bawah 15 %, lebih diutamakan antara 7 hingga 9 %.

7. Metode menurut klaim 1, dimana temperatur biocodigester antara temperatur kamar hingga 45 ^{o}C, lebih diutamakan antara 38 hingga 40 ^{o}C.
8. Metode menurut klaim 1, dimana sistem dioperasikan baik secara batch maupun kontinyu

Abstrak

METODE MEMPERCEPAT LAJU PRODUKSI BIOGAS

Invensi ini berkaitan dengan proses untuk mempercepat laju produksi biogas dari limbah kotoran ternak dan limbah cair tapioka dalam sistem biocodigester. Proses tersebut meliputi penyiapan cairan inokulum, pencampuran kotoran dengan limbah cair tapioka, dan produksi biogas di dalam biocodigester.