

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN TERAPAN
UNIVERSITAS LAMPUNG**



**PENINGKATAN PRODUKSI BIOGAS DARI AIR LIMBAH
INDUSTRI TAPIOKA MENGGUNAKAN ONGGOK**

TIM PENGUSUL

Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T
Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P

SINTA ID: 6023998
SINTA ID: 6091372

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

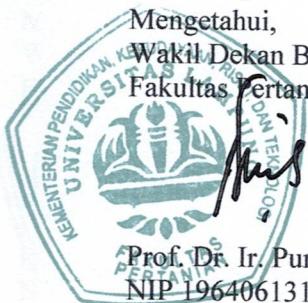
**HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN TERAPAN - UNIVERSITAS LAMPUNG**

Judul	: Peningkatan Produksi Biogas Dari Air Limbah Industri Tapioka Menggunakan Onggok
Manfaat sosial ekonomi	: Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi
Ketua Peneliti	
a. Nama lengkap	: Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T.
b. ID SINTA	: 6023998
c. Jabatan Fungsional	: Profesor
d. Program Studi	: Teknologi Industri Pertanian
e. Nomor HP	: 08117212617
f. Alamat email	: udinha@fp.unila.ac.id
Anggota 1	
a. Nama lengkap	: Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
b. ID SINTA	: 6091372
c. Program Studi	: Teknik Pertanian
d. Alamat email	: agus.haryanto@fp.unila.ac.id
Mahasiswa yang terlibat	
a. Nama lengkap	: Muhammad Teguh Angga Saputra
b. NPM	: 2124051005
c. Program Studi	: Teknik Industri Pertanian
d. Alamat email	: muhmadteguhanggasaputra@gmail.com
Jumlah alumni yang terlibat	: 1
Jumlah staf yang terlibat	: 1
Mitra Penelitian	: PD. Semangat Jaya, Negeri, Katon Pesawaran
Lokasi Kegiatan	: Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, UNILA
Lama Kegiatan	: 6 bulan
Biaya Kegiatan	: Rp.40.000.000,- (Empat puluh juta rupiah)
Sumber Dana	: BLU Universitas Lampung

Mengetahui,

Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerjasama
Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Purnomo, M.S.
NIP 196406131987031002



Bandar Lampung, 26 September 2022

Ketua Peneliti



Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T.
NIP 196401061988031002

Menyetujui,

Ketua LPPM Unila

Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A
NIP 196505101993032008



DAFTAR ISI

RINGKASAN	1
BAB 1. PENDAHULUAN	2
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Tujuan Khusus	3
1.3. Urgensi Penelitian	3
1.4. Target Penelitian	3
BAB 2. PELAKSANAAN DAN LUARAN	4
2.1. Pelaksanaan Penelitian	4
2.1.1. Efek Penambahan Onggok	4
2.1.2. Efek Penambahan <i>A. Niger</i>	12
2.2. Luaran Penelitian	16
BAB 3. KESIMPULAN DAN SARAN	17
REFERENSI	18
Lampiran: Draft paper jurnal internasional	20

RINGKASAN

Proses pengolahan singkong menjadi tepung tapioka menghasilkan limbah cair dan limbah padat yang banyak. Air limbah industri tapioka mengandung bahan organik yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai substrat pada produksi biogas. Selain dapat menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) melalui *methane capture*, konversi air limbah menjadi biogas juga dapat meningkatkan ekonomi sirkuler melalui penghematan bahan bakar fossil dan pemanfaatan biogas menjadi bahan bakar generator untuk membangkitkan listrik.

Produksi biogas sangat tergantung pada kandungan bahan organik dalam air limbah. Kapasitas produksi harian pabrik tapioka yang fluktuatif akan menyebabkan fluktusi produksi air limbah dan fluktusi produksi biogas. Pencampuran onggok pada sistem biogas air limbah tapioka diharapkan akan meningkatkan kandungan bahan organik di dalam air limbah yang pada gilirannya akan dapat meningkatkan produksi biogas dan produksi listrik yang stabil. Tetapi, perlu dikaji formulasi dan kondisi operasi yang optimal karena penambahan onggok berpotensi menurunkan pH dalam digester akibat produksi VFA yang berlebihan yang akan mengganggu proses metanogenesis sebagai tahapan produksi gas metana.

Tujuan jangka panjang dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kondisi yang tepat mengenai penambahan onggok pada sistem digester anaerobik sehingga menghasilkan biogas secara stabil. Sedangkan target khusus yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah menentukan perlakuan awal terbaik menggunakan *Aspergillus niger* terhadap campuran onggok dan air limbah tapioka pada digester anaerobik untuk produksi biogas, dan menentukan waktu retensi (HRT) terbaik untuk proses dekomposisi anaerobik campuran substrat ini.

Penelitian dilakukan dengan Mitra PD. Semangat Jaya (Negeri Katon, Pesawaran) yang akan membantu menyediakan bahan air limbah, efluen dan lumpur digester, serta onggok. Penelitian dilakukan menggunakan lumpur (*sludge*) dari kolam anaerobik yang digunakan sebagai sumber bakteri (*seed*). Campuran substrat air limbah tapioka dan onggok didekomposisi dengan dan tanpa perlakuan *Aspergillus niger* untuk *pretreatment* onggok. Penelitian dilakukan dalam labu Erlenmeyer 1000 mL yang dilengkapi dengan selang pengeluaran biogas, septum untuk pengambilan sampel biogas, dan pengukur produksi biogas. Penelitian disusun dengan penambahan onggok 10% dari air limbah, waktu tunda 1, 2, dan 3 hari, dengan dan tanpa perlakuan *Aspergillus niger*. Oleh karena itu terdapat 6 kombinasi perlakuan (waktu tunda \times *A. niger*) dengan formulasi air limbah:onggok:sludge = 180 mL : 20 g : 800 mL. Produksi biogas diamati setiap hari menggunakan metode pemindahan air, dan komposisi gas diamati pada hari ke 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, dan 20 menggunakan gas kromatografi (GC). Juga dilakukan analisis kualitas air limbah yang meliputi pengukuran pH, TS, VS, dan COD hari-0 (awal) dan hari-20 (akhir).

Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan produksi biogas sebesar 73,01%; 61,29%; 66,10%; dan 46,44% dan peningkatan total metana sebesar 67,42%; 58,73%; 68,83%; dan 48,01% berturut-turut untuk perlakuan A, B, C, dan D. Waktu tunda campuran onggok dan air limbah segar tapioka terbaik yaitu selama 3 hari dengan peningkatan produksi biogas sebesar 61,29%, peningkatan gas metana sebesar 59%, dan kadar gas metana dalam biogas rata-rata sebesar 55,83%. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penambahan *Aspergillus niger* meningkatkan solubilitas onggok. Selain itu, solubilitas onggok juga dipengaruhi oleh proporsi onggok dimana proporsi onggok 7,5% dan 10% menghasilkan total S-COD yang terus meningkat hingga 120 jam fermentasi.

Kata kunci: biogas, onggok, ekonomi sirkuler, energi terbarukan, keberlanjutan

BAB 1. PENDAHULUAN

2.1. Latar Belakang

Singkong merupakan bahan baku untuk produksi tapioka, bioetanol, pangan, dan industri lainnya. Sebagian besar singkong di Lampung diolah menjadi tapioka. Secara garis besar pengolahan singkong menjadi tepung tapioka melalui 3 tahap, yaitu tahap pencucian dan pemarutan umbi, tahap ekstraksi pati, dan tahap pengeringan dan pengepakan tepung tapioka. Pengolahan singkong menjadi tapioka juga menghasilkan limbah padat berupa kulit, ujung, dan onggok umumnya digunakan untuk pakan ternak. Onggok (ampas) dihasilkan dari proses pemerasan dan penyaringan. Komponen penting yang terdapat dalam onggok adalah pati dan selulosa. Onggok juga mengandung karbohidrat yang tinggi (68%), protein kasar (3,6%), dan lemak (2,3%) ([Suroso, 2011](#)). Belum ada upaya yang signifikan untuk memanfaatkan biomassa ini untuk keperluan penting lainnya seperti sumber energi. Padahal, dengan kandungan bahan organik yang tinggi, onggok berpotensi untuk digunakan sebagai campuran substrat dalam produksi biogas.

Proses pengolahan tapioka akan menghasilkan air limbah yang banyak ($2,82\text{--}4,94 \text{ m}^3/\text{ton}$ singkong). Limbah cair tersebut mengandung bahan organik yang tinggi yang ditandai dengan kandungan COD yang tinggi mencapai 20.433 mg/L . Melalui proses dekomposisi anaerobik bahan organik yang terdapat pada air limbah dapat dikonversi menjadi biogas dengan komposisi $50\text{ -- }70\%$ CH_4 , $25\text{ -- }45\%$ CO_2 ; dan sejumlah kecil nitrogen, hidrogen, dan hidrogen sulfida. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pengeringan tapioka atau untuk pembangkit listrik. Biogas dari air limbah industri tapioka telah dikembangkan untuk pembangkit listrik komersial. Pemanfaatan air limbah pabrik tapioka untuk menghasilkan listrik sudah berhasil dilakukan. Selain dapat menghemat penggunaan bahan bakar fossil, upaya ini telah dapat menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) melalui *methane capture* dan pemanfaatannya menjadi bahan bakar generator listrik.

Produksi biogas sangat tergantung pada kandungan bahan organik dalam air limbah. Kapasitas produksi harian pabrik tapioka yang fluktuatif akan menyebabkan fluktusi produksi air limbah dan selanjutnya fluktusi produksi biogas dan listrik. Dalam rangka menstabilkan produksi listrik yang merupakan tuntutan Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang harus dipenuhi oleh pihak pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg), maka perlu dilakukan upaya penggunaan bahan baku (*feed stock*) lain yang tersedia di pabrik tapioka. Penambahan atau pencampuran onggok pada sistem biogas air limbah tapioka akan meningkatkan kandungan bahan organik di dalam air limbah. Pada gilirannya, hal ini diharapkan akan dapat

meningkatkan produksi biogas dari air limbah industri tapioka. Penggunaan onggok sebagai *feed stock* tambahan produksi biogas perlu dikaji karena bila dilakukan secara tidak cermat bisa menimbulkan penurunan pH di dalam digester anaerobik akibat produksi asam-asam volatil yang berlebihan. Hal ini bisa mengganggu proses metanogenesis sebagai tahapan produksi gas metana. Selain itu, hambatan pada pH yang rendah dan proses metanogenesis akan meningkatkan produksi gas CO₂ dan H₂.

1.2. Tujuan Khusus

Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui efek penambahan onggok pada produksi biogas dari air limbah tapioka.
2. Menentukan campuran terbaik dari air limbah tapioka (air limbah segar dan efluent dari digester anaerobik) dan onggok untuk produksi biogas
3. Menentukan waktu retensi (*hydraulic retention time*) terbaik untuk proses hidrolisis dan asidogenesis campuran air limbah tapioka dan onggok
4. Melakukan optimasi produksi biogas khususnya untuk pembangkit listrik komersial.

1.3. Urgensi Penelitian

Pembangkit listrik komersial berbasis biogas dari air limbah tapioka sangat bergantung pada produksi biogas yang sangat dipengaruhi oleh kandungan bahan organik. Penambahan onggok pada sistem biogas akan meningkatkan kandungan bahan organik pada air limbah yang pada gilirannya akan meningkatkan produksi biogas. Hal ini diharapkan akan meningkatkan reliabilitas dan keberlanjutan pembangkit listrik komersial berbasis air limbah industri tapioka.

1.4. Target Penelitian.

Penelitian ditargetkan menemukan formulasi yang pas mengenai penambahan atau pencampuran onggok pada sistem biogas air limbah tapioka. Dengan formulasi ini sistem anaerobik akan menghasilkan biogas yang maksimal sehingga meningkatkan keandalan sistem pembangkit listrik berbasis biogas air limbah tapioka. Hasil penelitian akan disajikan dalam pertemuan ilmiah nasional maupun internasional serta dipublikasikan dalam jurnal internasional bereputasi seperti *Journal of Engineering and Technological Sciences* (Q3), *International Journal of Renewable Energy Development* (Q3), atau *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology* (Q2).

BAB 2. PELAKSANAAN DAN LUARAN

2.1. Pelaksanaan Penelitian

2.1.1. Efek Penambahan Onggok

Pengaruh penambahan onggok dan waktu tunda campuran onggok diamati dari perubahan COD (*Chemical Oxygen Demand*), pH, total volatile acid (TVA), produksi biogas, dan kandungan CH₄ dalam biogas. Gambar 1 menampilkan perubahan nilai COD terlarut (CODs) yang dihasilkan dalam penelitian ini.

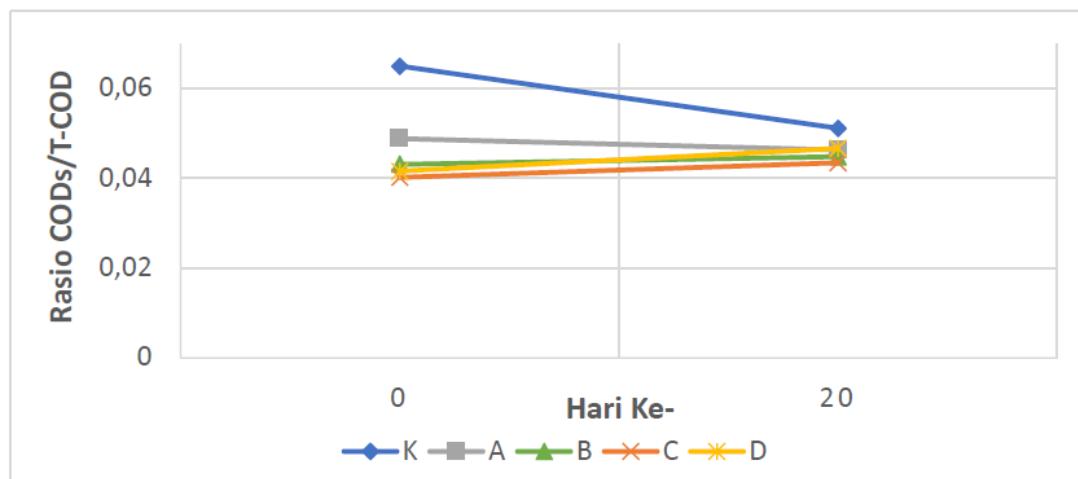


Gambar 1. Grafik perubahan nilai CODs setelah 20 hari (K = Kontrol; A = Waktu tunda 0 hari; B = Waktu tunda 3 hari; C = Waktu tunda 4 hari; dan D = Waktu tunda 5 hari).

Dari Gambar 1 terlihat adanya penurunan nilai CODs yang mengindikasikan bahwa terjadi penurunan kinerja mikroorganisme dari hari ke-0 sampai hari ke-20. Penurunan konsentrasi CODs menunjukkan laju konversi CODs yang cukup baik. Artinya, proses penguraian secara anaerobik mampu menurunkan nilai CODs pada substrat sehingga mampu menurunkan beban cemaran pada substrat dalam reaktor ([Saputra et al., 2010](#)).

Kelarutan COD dapat disajikan sebagai rasio COD terlarut terhadap COD total (CODs/T-COD) yang menyatakan tingkat keberhasilan proses degradasi fasa hidrolisis. Gambar 2 menunjukkan perubahan Rasio CODs/T-COD yang dipengaruhi oleh waktu tunda campuran onggok. Awalnya rasio CODs/T-COD bervariasi 0,041 – 0,065 dimana nilai tertinggi pada hari ke-0 terjadi pada sampel K (kontrol), yang merupakan sampel tanpa penambahan onggok sehingga proses degradasi berlangsung lebih cepat. Penambahan onggok dapat meningkatkan

beban degradasi dalam limbah karena onggok merupakan Bahan yang kompleks. Menurut [Ceconet et al. \(2022\)](#), air limbah yang memiliki campuran kompleks (kandungan *suspended solid* 50-60% dari TCOD) akan menghasilkan rasio CODs/T-COD yang relatif rendah.

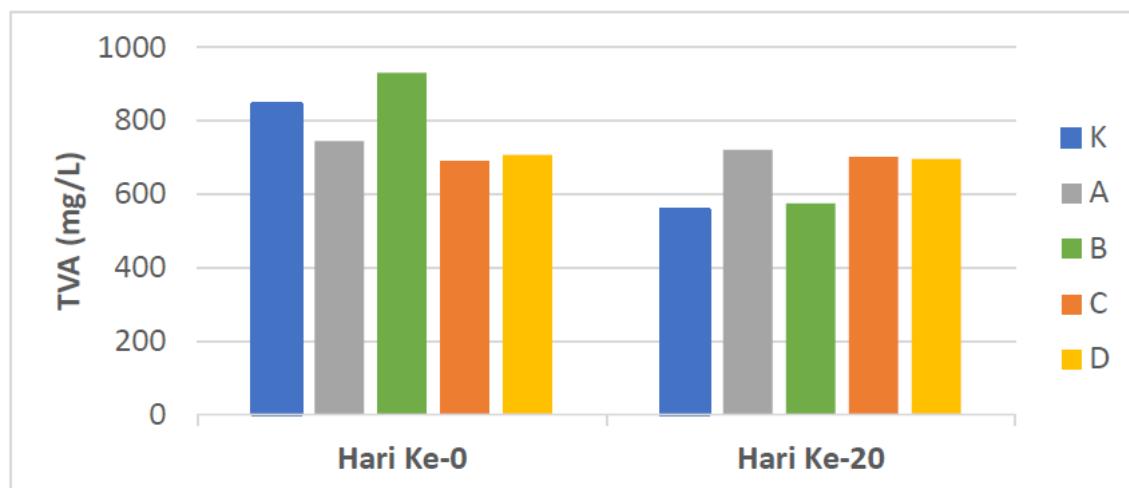


Gambar 2. Grafik perubahan rasio CODs/T-COD (K = Kontrol; A = Waktu tunda 0 hari; B = Waktu tunda 3 hari; C = Waktu tunda 4 hari; dan D = Waktu tunda 5 hari).

Setelah proses degradasi anaerob selama 20 hari, terjadi peningkatan rasio CODs/T-COD antara 1% hingga 1,1%. Meskipun tidak signifikan, perubahan nilai rasio CODs/T-COD ini menunjukkan bahwa adanya waktu tunda akan meningkatkan nilai CODs dalam limbah. Hal ini berarti bahwa limbah yang mendapatkan waktu tunda akan meningkat biodegradabilitasnya. Selama waktu tunda tersebut, bahan organik akan terurai menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana sehingga akan mempengaruhi kecernaan substrat dalam sistem biogas ([Suksaroj et al., 2020](#)).

Pengaruh waktu tunda pada campuran onggok juga dapat dilihat dari perubahan nilai *Total Volatile Acid* (TVA). Produksi TVA menggambarkan adanya potensi bahan *volatile organic* yang kemudian akan dapat diubah menjadi gas metana. TVA mempengaruhi proses degradasi anaerobik, karena menumpuknya *volatile acid* dalam proses anaerobik akan menyebabkan kurangnya konversi asetat, propionat dan senyawa asam lemak lainnya menjadi metana dalam sistem ([Osuna et al., 2003](#)). Dari Gambar 3 dapat kita lihat terjadinya penurunan nilai TVA dari hari ke-0 sampai hari ke-20. Perubahan nilai TVA tertinggi terjadi pada sampel B (waktu tunda 3 hari) dimana nilai TVA turun dari 930 mg/L (hari 0) menjadi sedikit lebih rendah dari 600 mg/L. Besaran penurunan nilai TVA menandakan tingkat keberhasilan proses asidifikasi. Dalam penelitian ini, reaksi asidogenesis yang paling baik adalah pada waktu tunda 3 hari dimana pada kondisi tersebut diperoleh perubahan asam volatil

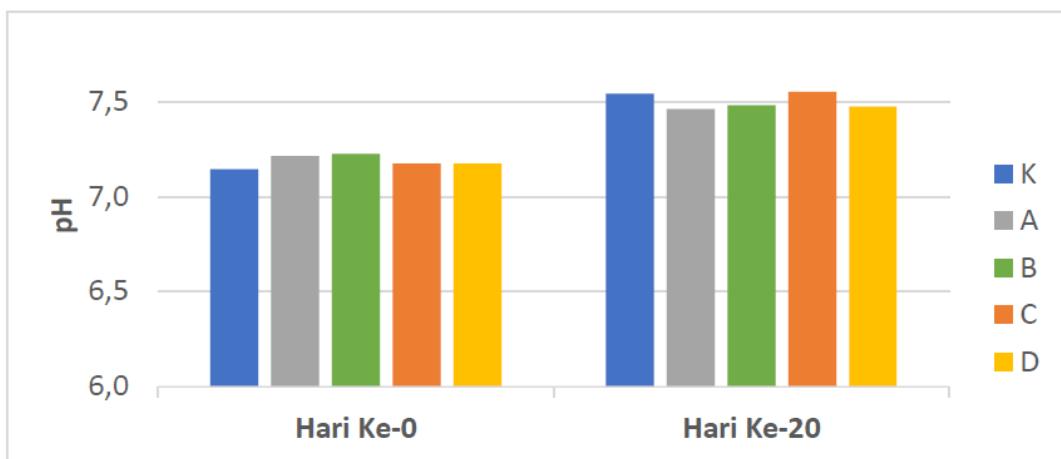
lebih tinggi daripada sampel kontrol dan perlakuan waktu tunda lainnya. [Broughton \(2009\)](#) dalam penelitiannya, memperoleh asam volatil total sebesar 635 mg/L yang dianggap sebagai nilai TVA optimal dalam produksi biogas. Selama proses dekomposisi selama 20 hari, asam-asam volatil dapat terbentuk dalam proses asetogenesis dan dapat terkonversi selama proses metanogenesis, sebab kedua proses tersebut terjadi dalam satu ruang yang sama. Terjadinya penurunan nilai TVA pada hari ke-20 menandakan sebagian besar *volatile acid* telah terkonversi menjadi gas metana. Berkurangnya konsentrasi substrat akan menurunkan konsentrasi TVA. Hal ini sesuai dengan pernyataan [Kahar et al. \(2018\)](#), semakin besar konsentrasi substrat yang tereduksi, berarti bahan organik terlarut yang terbiodegradasi menjadi asam-asam organik semakin besar. Asam organik inilah yang kemudian dikonversi menjadi gas metan. Kecenderungan penurunan nilai TVA pada penelitian ini diindikasikan karena laju konversi TVA lebih besar dari pada laju produksi TVA.



Gambar 3. Grafik Perubahan Nilai *Total Volatile Acid* (TVA) (K = Kontrol; A = Waktu tunda 0 hari; B = Waktu tunda 3 hari; C = Waktu tunda 4 hari; dan D = Waktu tunda 5 hari).

Parameter lain yang penting dalam proses penguraian anaerobik adalah pH. Penggunaan *sludge* konsentrasi tinggi akan memberikan peningkatan nilai pH menuju 6,8 – 7,2 ([Ponsa et al., 2008](#)). Waktu tunda campuran onggok telah mengakibatkan peningkatan pH yang berbeda selama proses anaerobik (Gambar 4). Pada hari ke-0 nilai pH berkisar dari 7,15 (kontrol) hingga 7,23 (B, waktu tunda 3 hari). Berdasarkan nilai pH maka semua perlakuan memiliki nilai pH yang baik untuk produksi biogas. Menurut [Manurung \(2004\)](#), selama proses metanogenesis pH sebaiknya berada pada interval 6,6 – 7,6 dengan pH optimumnya antara 6,9 – 7,2. Penuruan pH akan menghambat pembentukan biogas. Sebaliknya, nilai pH yang

terlalu tinggi juga harus dihindari, karena akan menyebabkan produk akhir didominasi oleh CO₂ sebagai produk utama ([Rusdiyono et al., 2017](#)).

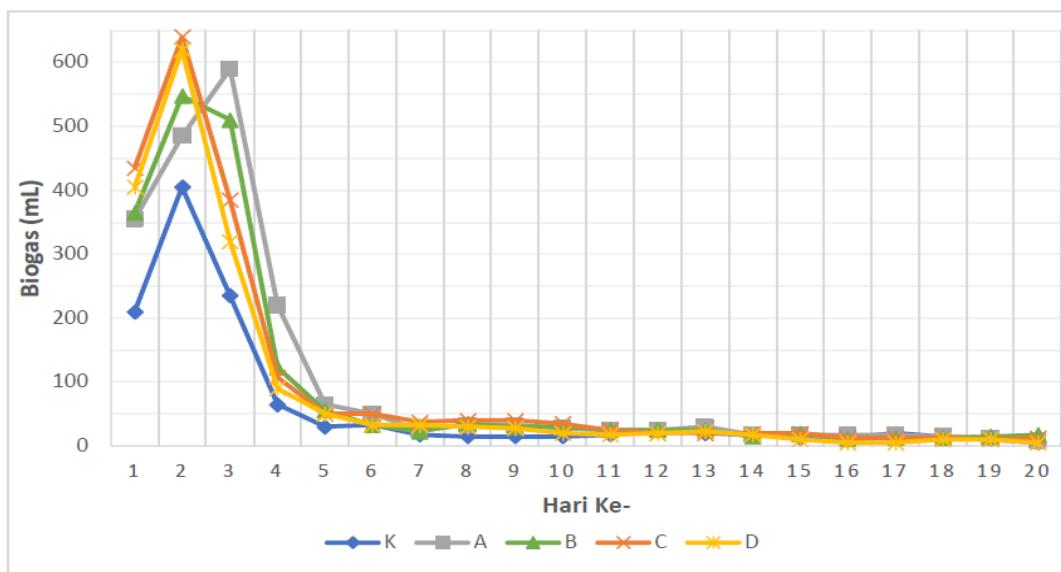


Gambar 4. Grafik perubahan nilai pH (K = Kontrol; A = Waktu tunda 0 hari; B = Waktu tunda 3 hari; C = Waktu tunda 4 hari; dan D = Waktu tunda 5 hari).

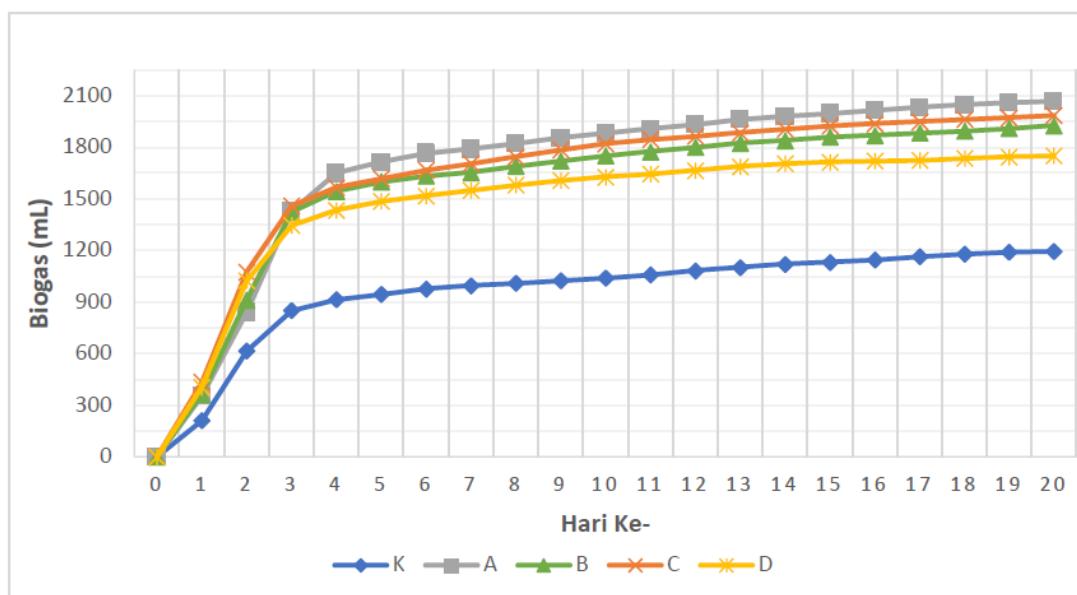
Produksi biogas akan menjadi parameter penentu keberhasilan sistem penguraian anaerobik. Produksi biogas harian dan kumulatif disajikan pada Gambar 5 dan 6. Gambar 5 menunjukkan peningkatan volume biogas pada hari ke-2 dan penurunan volume biogas pada hari ke-3 secara signifikan sampai hari ke-5 serta mengalami penurunan yang relatif konstan sampai hari ke-10 hingga diperoleh produksi biogas harian yang stabil sampai hari ke-20. Penambahan onggok dengan perlakuan pendahuluan berupa waktu tunda pada penelitian ini menghasilkan volume biogas yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel K tanpa penambahan onggok. Hal ini dikarenakan, waktu tunda memberikan kesempatan bagi bakteri selama proses hidrolisis dan asidogenesis dalam merombak onggok dalam air limbah segar tapioka sehingga meningkatkan nilai CODs yang kemudian memproduksi menjadi asam-asam volatil untuk selanjutnya dikonversi menjadi gas CH₄ dan CO₂.

Menurut [Ahmad \(2009\)](#), meningkatnya beban organic menyebabkan sistem menghasilkan asam asetat yang lebih tinggi dengan hasil samping gas hidrogen dan gas CO₂ yang lebih tinggi. Produksi biogas yang menurun dari hari ke-4 sampai hari ke-20 tidak sejalan dengan nilai T-COD yang masih cukup tinggi pada hari ke-20. Hal ini disebabkan karena nilai T-COD memberikan hasil pengukuran yang terdiri atas CODp dan CODs. Jika dilihat dari rasio CODs/T-COD (Gambar 2), dapat dilihat bahwa bahan organik terlarut yang dapat dikonsumsi oleh kolonisasi bakteri metanogenik hanya sekitar 4 – 6%. Artinya, substrat yang dapat dikonversi menjadi gas metana (CH₄) selama produksi biogas yaitu sebesar 4-6%, padahal nilai CODs yang tinggi diharapkan dapat menghasilkan produksi yang lebih tinggi pula.

Penyisihan nilai T-COD yang sangat rendah memperkuat nilai rasio CODs/T-COD yang menunjukkan bahwa sampel terdiri dari COD_p (*particulate*) yang tidak dapat dikonsumsi atau didegradasi selama proses pembentukan biogas. Oleh karena itu, dalam rentang waktu yang singkat sebagian besar bahan organik terlarut telah habis dikonsumsi dan menyisakan bahan particulate yang tertinggal dan terhitung sebagai nilai T-COD.



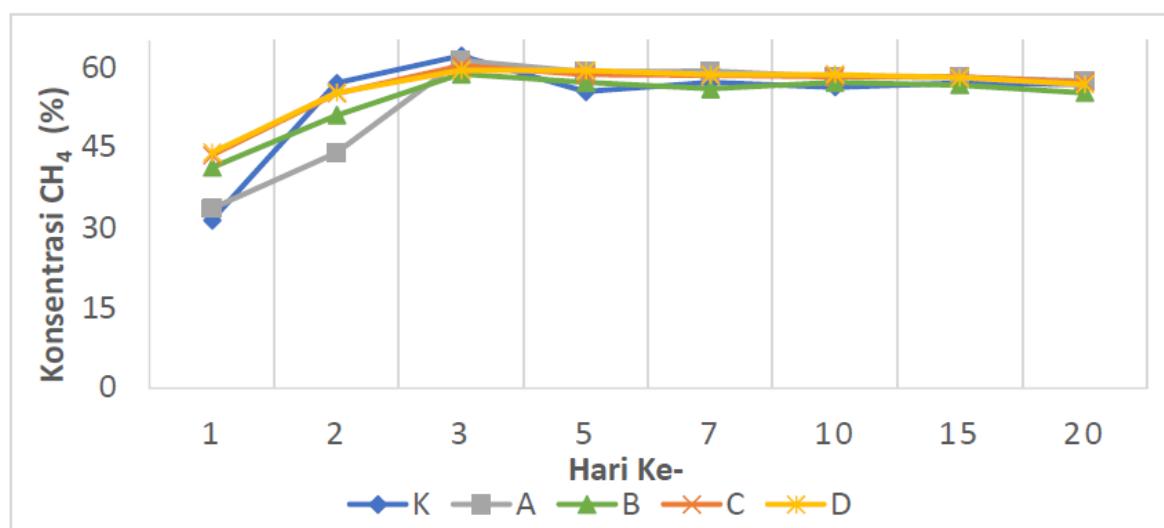
Gambar 5. Grafik produksi biogas harian (K = Kontrol; A = Waktu tunda 0 hari; B = Waktu tunda 3 hari; C = Waktu tunda 4 hari; dan D = Waktu tunda 5 hari).



Gambar 6. Grafik produksi biogas kumulatif (K = Kontrol; A = Waktu tunda 0 hari; B = Waktu tunda 3 hari; C = Waktu tunda 4 hari; dan D = Waktu tunda 5 hari).

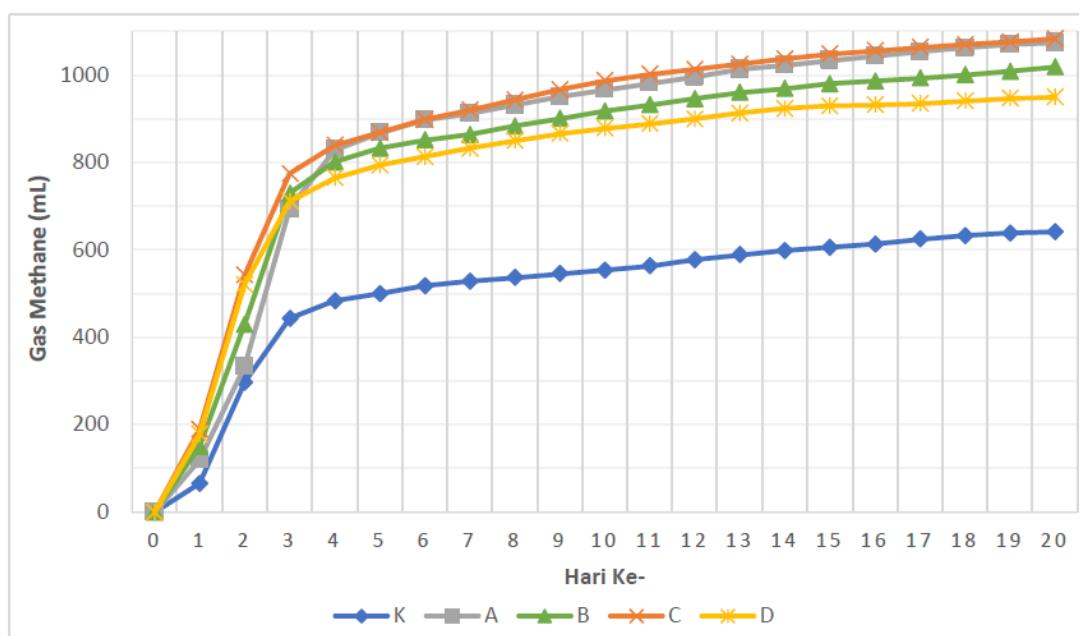
Volume biogas kumulatif yang diperoleh selama 20 hari untuk sampel K, A, B, C, dan D berturut-turut adalah 1.195 mL, 2.067,5 mL, 1.927,5 mL, 1.985 mL, dan 1.750 mL. Perlakuan waktu tunda onggok dan air limbah tapioka selama 0, 3, 4, dan 5 hari meningkatkan produksi biogas masing masing sebesar 73,01 %; 61,29 %; 66,10 %; dan 46,44 % dibandingkan dengan perlakuan kontrol (tanpa penambahan onggok). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan onggok dengan pemberian waktu tunda memberikan peningkatan produksi biogas.

Biogas memiliki komposisi utama yang terdiri dari metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Kualitas biogas dinilai dari kandungan metana yang terdapat di dalamnya (makin tinggi makin baik). Gambar 7 menunjukkan konsentrasi gas metana (CH_4) yang cukup rendah di hari ke-1 namun menunjukkan peningkatan di hari ke-2. Rendahnya konsentrasi CH_4 pada hari pertama mengindikasikan bahwa bakteri metanogen masih beradaptasi pada lingkungan baru sehingga proses dekomposisi menjadi metana belum dapat terjadi secara optimal. Artinya, pada hari pertama pembentukan gas terjadi dari proses asidogenesis yang membentuk asam volatil, H_2 , dan CO_2 . Sebagian besar H_2 dan CO_2 terutama dihasilkan karena laju konsumsi CODs oleh aktivitas bakteri asidogen lebih dominan (Farghaly dan Tawfik, 2016). Selama 20 hari proses anaerobic terlihat bahwa perlakuan C menunjukkan konsentrasi CH_4 yang cukup konstan pada kisaran 57,2 – 58,6 %, diikuti oleh sampel A (57,4 – 59,2 %), sampel D (56,8 – 59,4 %), dan sampel B (55,2 – 57,2). Proses metanogenesis akan menghasilkan CH_4 sebagai produk utama. Kondisi fermentasi dengan bahan baku yang telah mengalami proses asidogenesis-asetogenesis (yakni asam asetat) akan lebih mudah dan cepat untuk digunakan oleh bakteri metanogen untuk dikonversi menjadi CH_4 dan CO_2 (Iriani *et al.*, 2017).



Gambar 7. Konsentrasi gas metana (CH_4) dalam biogas (K = Kontrol; A = Waktu tunda 0 hari; B = Waktu tunda 3 hari; C = Waktu tunda 4 hari; dan D = Waktu tunda 5 hari).

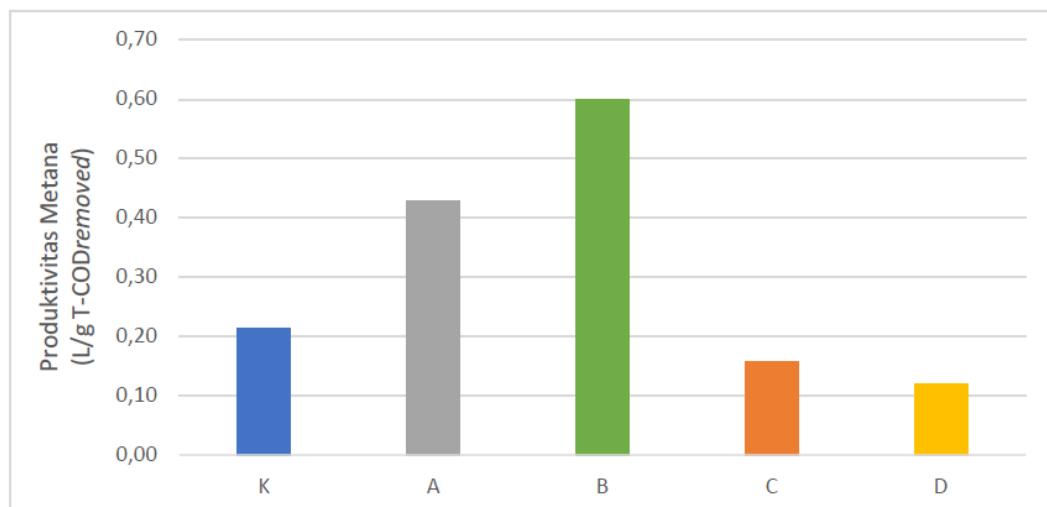
Potensi energi biogas dapat dilihat dari total metana yang diperoleh selama 20 hari dekomposisi secara anerobik dengan mengalikan konsetrasi metana hari tertanggal dengan volume biogas yang diperoleh hari tertanggal. Gambar 8 menunjukkan total metana kumulatif selama 20 hari dekomposisi secara anaerobik. Total metana tertinggi diperoleh oleh sampel C sebesar 1083,1 mL CH₄ diikuti oleh sampel A (1074 mL) dan total metana terendah diperoleh pada sampel K sebesar 641,5 mL CH₄. Pemberian perlakuan waktu tunda onggok dan air limbah segar tapioka selama 0 (tanpa waktu tunda), 3, 4, dan 5 hari memberikan peningkatan total metana masing masing sebesar 67,42 %; 58,73 %; 68,83 %; dan 48,01 % dibandingkan dengan perlakuan kontrol (tanpa penambahan onggok). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan waktu tunda campuran onggok dan air limbah segar tapioka berpengaruh terhadap total metana yang dihasilkan. Sampel C (dengan waktu tunda 4 hari) merupakan perlakuan yang cukup baik karena total metana yang diperoleh paling tinggi selama 20 hari proses anaerobik sehingga potensial untuk dimanfaatkan sebagai energi biogas.



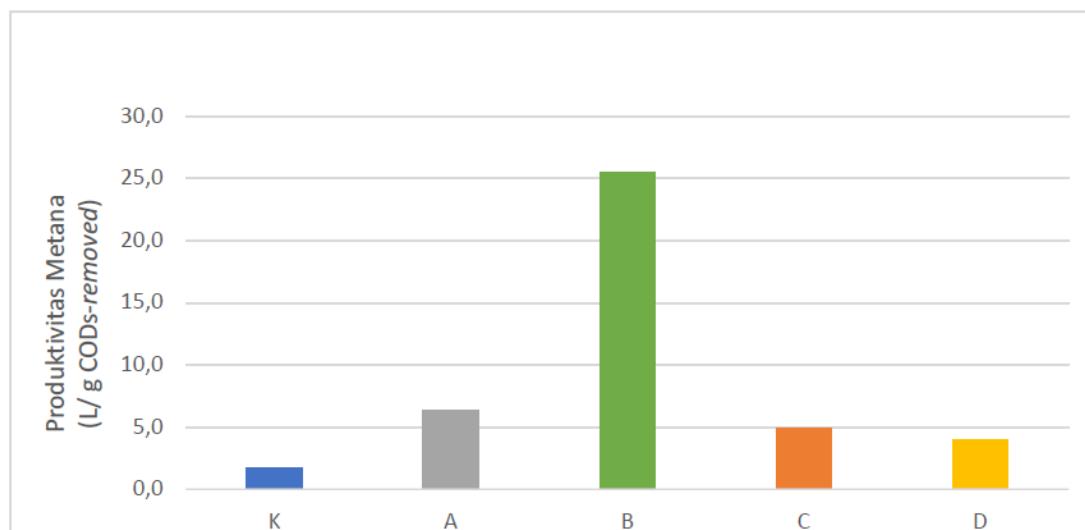
Gambar 8. Grafik total metana kumulatif (K = Kontrol; A = Waktu tunda 0 hari; B = Waktu tunda 3 hari; C = Waktu tunda 4 hari; dan D = Waktu tunda 5 hari).

Produktivitas metana dihitung dari produksi total metana dibagi dengan T-COD_{removed} atau CODs-removed. Produktivitas metana menunjukkan hasil per satuan gram T-COD ataupun CODs dari gas metana yang dihasilkan, sedangkan untuk produksi total metana merupakan hasil keseluruhan gas metana yang dihasilkan selama penelitian. Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan produktivitas metana berdasarkan T-COD removed dan CODs

removed. Produktivitas metana yang paling tinggi yaitu pada sampel B selama 20 hari dekomposisi anaerobik yaitu sebesar 0,60 L/g T-COD *removed* atau 25,5 L/gCODs *removed*. Sampel K menunjukkan produktivitas metana yang paling rendah yaitu sebesar 0,21 L/g T-COD *removed* atau 1,7 L/g CODs *removed*. Tingginya produktivitas metana pada sampel B dikategorikan sangat baik karena diiringi dengan konsentrasi gas metana yang cukup tinggi dengan rata-rata konsentrasi metana sebesar 55,83%. Produktivitas metana sangat dipengaruhi oleh total produksi biogas yang dihasilkan dan konsentrasi gas metana. Menurut [Haryanto et al. \(2018\)](#), produktivitas biogas dipengaruhi oleh total produksi biogas yang dihasilkan dan banyaknya bahan organik yang terdegradasi oleh bakteri selama proses dekomposisi anaerob.



Gambar 9. Produktivitas metana berdasarkan T-COD *removed* (K = Kontrol; A = Waktu tunda 0 hari; B = Waktu tunda 3 hari; C = Waktu tunda 4 hari; dan D = Waktu tunda 5 hari).



Gambar 10. Produktivitas metana berdasarkan CODs-*removed* (K = Kontrol; A = Waktu tunda 0 hari; B = Waktu tunda 3 hari; C = Waktu tunda 4 hari; dan D = Waktu tunda 5 hari).

2.1.2. Efek Penambahan *A. Niger*

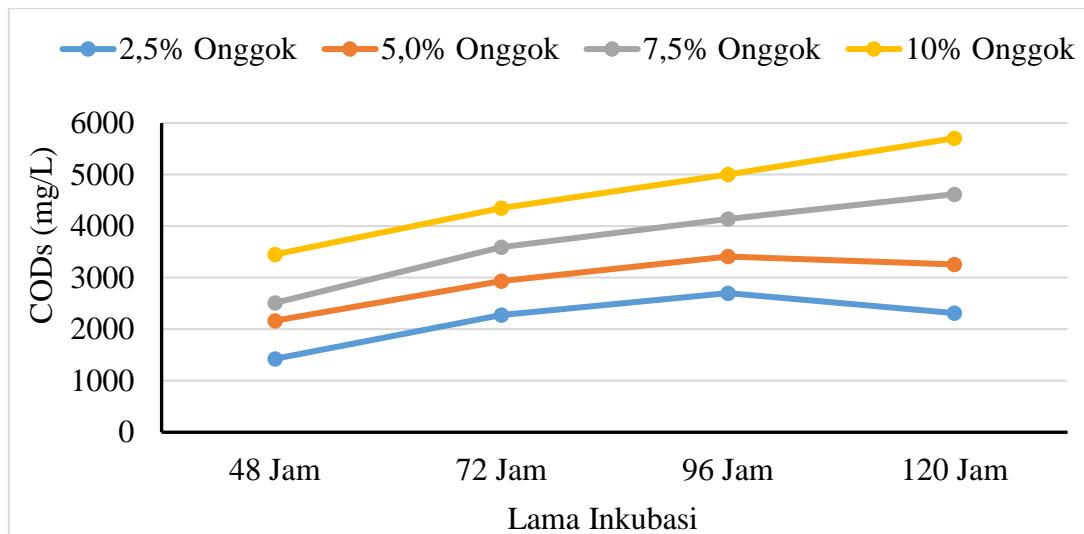
Onggok merupakan bahan organik kompleks yang lebih sulit terdegradasi. Oleh karena itu perlu dilakukan perlakuan awal terhadap onggok, diantaranya dengan menambahkan kapang *Aspergillus niger*. Perlakuan *Aspergillus niger* dilakukan mengetahui efek kapang dalam mendegradasi pati onggok. Parameter yang diamati meliputi Total *Soluble Chemical Oxygen Demand* (S-COD), total gula pereduksi, pH, Total Suspended Solid (TSS), dan Total Solid (TS). Penelitian dilakukan menggunakan *Aspergillus niger* 0,1% dengan variasi konsentrasi onggok 2,5%, 5,0%, 7,5%, dan 10%. Pengamatan dilakukan pada 2, 3, 4, dan 5 hari inkubasi. Hasil penelitian diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh perlakuan terhadap parameter pengamatan

Perlakuan		S-COD	Gula Pereduksi	pH	TSS	TS
Onggok	Inkubasi	(mg/L)	(mg/L)		(mg/L)	
2,5%	2 hari	1425±21,2	226,5±34,3	4,6	5,61±0,168	6,06±0,191
2,5%	3 hari	2275±346,5	388,4±27,3	4,6	5,13±0,143	5,70±0,191
2,5%	4 hari	2700±14,1	429,5±50,2	4,5	4,16±0,090	4,78±0,092
2,5%	5 hari	2315±120,2	377,2±11,4	4,4	4,04±0,030	4,71±0,006
5,0%	2 hari	2165±35,4	349,8±6,2	4,4	9,39±0,065	10,04±0,074
5,0%	3 hari	2935±558,6	512,9±18,5	4,4	9,09±0,125	9,84±0,173
5,0%	4 hari	3410±99,0	605,7±10,6	4,2	8,88±0,284	9,70±0,310
5,0%	5 hari	3255±77,8	557,8±11,4	4,2	8,53±0,067	9,49±0,039
7,5%	2 hari	2510±212,1	473,1±4,4	4,4	15,27±0,148	16,08±0,170
7,5%	3 hari	3590±367,7	648,7±9,7	4,4	14,90±0,105	15,93±0,150
7,5%	4 hari	4140±42,4	782,0±16,7	4,2	14,30±0,056	15,50±0,025
7,5%	5 hari	4620±56,6	807,5±12,3	4,1	13,52±0,045	14,81±0,007
10%	2 hari	3450±523,3	571,5±9,7	4,4	21,23±0,063	22,18±0,042
10%	3 hari	4350±14,1	794,4±23,8	4,4	21,00±0,024	22,10±0,042
10%	4 hari	5000±410,1	872,3±15,9	4,2	20,80±0,059	21,98±0,042
10%	5 hari	5705±176,8	909,6±14,1	4,1	20,26±0,277	21,60±0,456

Hubungan antara konsentrasi onggok dan lama inkubasi dengan variabel CODs disajikan pada Gambar 11. Nilai CODs pretreatment dengan konsentrasi onggok 2,5% dan 5,0% meningkat hingga 96 jam fermentasi. Pretreatment dengan konsentrasi onggok 7,5% dan 10% memiliki nilai total CODs terus meningkat hingga 120 jam fermentasi. Semakin besar substrat yang digunakan maka semakin tinggi nilai CODs. Konsentrasi onggok dan lama pretreatment menggunakan *Aspergillus niger* 0,1% terbaik adalah perlakuan yang memiliki nilai CODs optimum. Titik optimum S-COD yaitu pada konsentrasi onggok 5,0% dan 2,5% selama 96 jam pretreatment. Konsentrasi 5,0% dan 2,5% memiliki potensi CODs tertinggi per jumlah onggok.

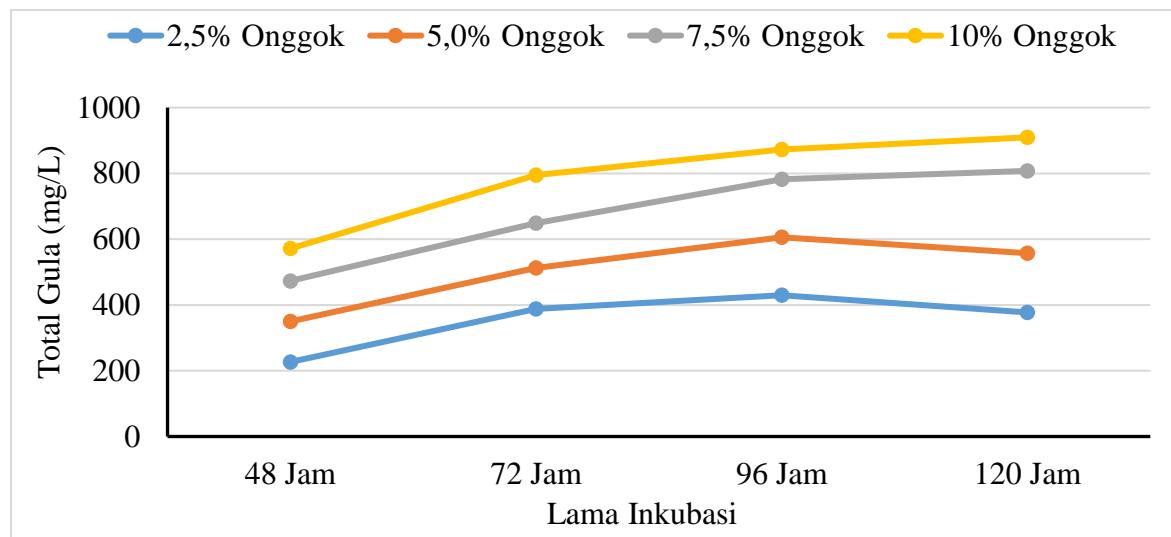
Konsentrasi 5% pada 96 jam pretreatment memiliki nilai CODs sebesar 113,67 mg/L per gram onggok. Sedangkan pada konsentrasi 2,5% dengan lama pretreatment 96 jam memiliki nilai CODs sebesar 180 mg/L. Jadi pretreatment onggok menggunakan *Aspergillus niger* 0,1% berpotensi menghasilkan CODs tertinggi pada konsentrasi 2,5% selama 96 jam.



Gambar 11. Pengaruh konsentrasi onggok dan lama inkubasi terhadap CODs pada penambahan *Aspergillus niger* 0,1%.

Aspergillus niger mendegradasi polisakarida oleh enzim ekstraseluler menjadi disakarida dan kemudian dihidrolisis menjadi monosakarida (gula sederhana) dalam sel oleh enzim spesifik (Sopandi, 2014). Dalam produksi biogas, gula sederhana digunakan sebagai sumber nutrisi mikroba pengurai untuk menghasilkan biogas sehingga meningkatkan produksi biogas. Berdasarkan uji lanjut *duncan* pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$), pretreatment dengan perlakuan konsentrasi onggok 2,5%; 5,0%; 7,5%; dan 10% berpengaruh nyata terhadap nilai total gula pereduksi. Gambar 12 menunjukkan bahwa laju pembentukan total gula pereduksi pada pretreatment onggok menggunakan *Aspergillus niger* dengan konsentrasi onggok 2,5% dan 5,0% memiliki kurva total gula pereduksi meningkat hingga 96 jam dan menurun pada 120 jam. Penurunan setelah 120 jam terjadi karena gula sederhana digunakan oleh *Aspergillus niger* dan menghasilkan metabolisme sekunder yaitu asam sitrat. Mikroorganisme memodifikasi aktivitas biokimiawi pada keadaan substrat mendekati habis dan terjadi penumpukan produk (Mangunwidjaja dan Suryani, 1994). Hal ini berarti bahwa *Aspergillus niger* 0,1% pada pretreatment dengan konsentrasi 2,5% dan 5,0% mengalami kekurangan nutrisi dari pati onggok setelah 96 jam.

Sedangkan pretreatment dengan konsentrasi onggok 7,5% dan 10,0% memiliki kurva pembentukan total gula pereduksi meningkat hingga 120 jam. Produk yang dihasilkan dari metabolit primer berupa gula sederhana (monosakarida) terus meningkat. Pembentukan produk metabolisme primer dihasilkan pada fase pertumbuhan (eksponensial) mikroorganisme diikuti penggunaan substrat (Mangunwidjaja dan Suryani, 1994). Hal ini berarti bahwa pretreatment dengan substrat onggok 7,5% dan 10 belum habis digunakan *Aspergillus niger* 0,1% hingga 120 jam.

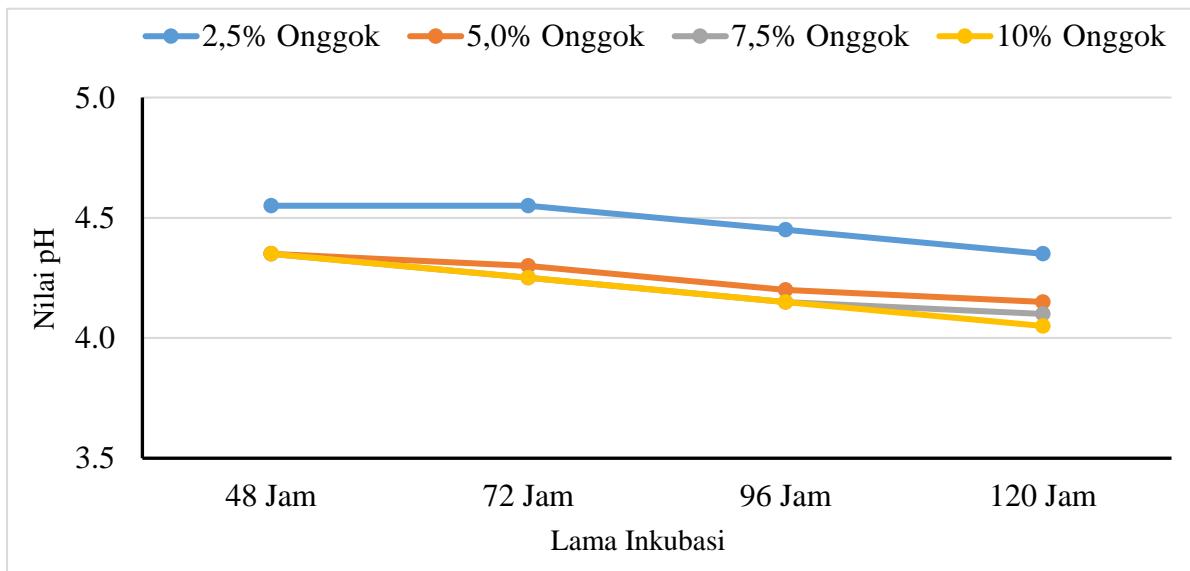


Gambar 12. Pengaruh konsentrasi onggok dan lama inkubasi terhadap Total Gula Pereduksi pada penambahan *Aspergillus niger* 0,1%.

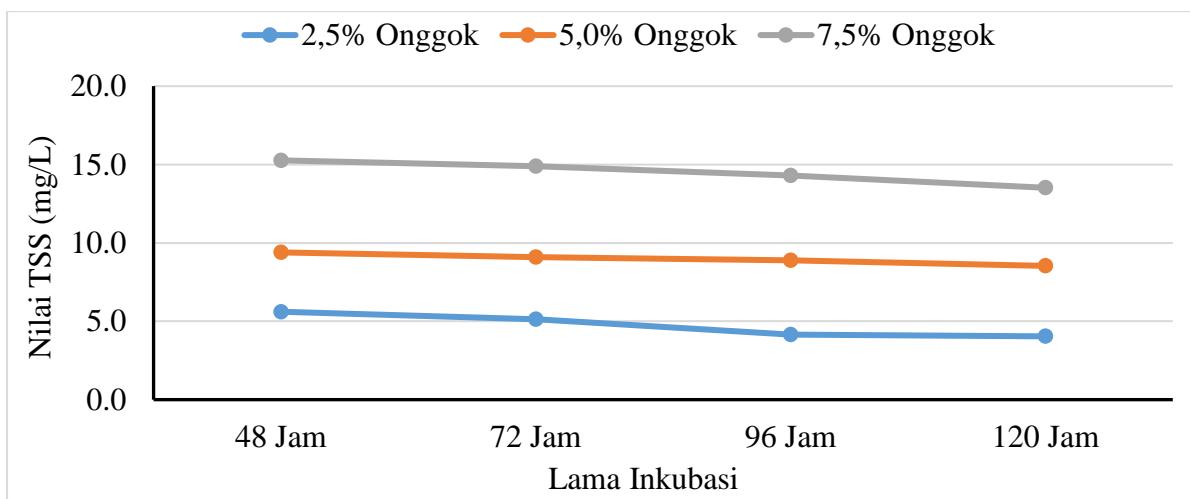
Pretreatment menggunakan *Aspergillus niger* tidak hanya pembentukan produk dari metabolisme primer yaitu gula sederhana tetapi juga pembentukan asam sitrat dari gula sederhana yang dihasilkan. Asam yang terbentuk menurunkan pH pada pretreatment onggok. Gambar 13 menunjukkan bahwa nilai pH mengalami laju terus menurun selama pretreatment hingga 120 jam. Penurunan pH karena selama proses pretreatment tidak hanya menghasilkan gula sederhana tetapi juga asam sitrat. Semakin lama pretreatment maka nilai pH semakin menurun. Asam sitrat yang terbentuk tidak dikehendaki pada produksi biogas karena tidak dapat digunakan mikroba metanogenesis dan mempengaruhi pH air limbah.

Pretreatment onggok menggunakan *Aspergillus niger* menghasilkan enzim amilase memecah senyawa kompleks yang tidak larut air yaitu pati menjadi senyawa sederhana berupa monosakarida larut air yaitu glukosa, sehingga TSS menurun. TSS merupakan salah satu indikasi meningkatnya kandungan bahan organik yang larut ke air biogas reaktor setelah

pretreatment. Gambar 14 menunjukkan bahwa nilai total suspeded solid (TSS) pretreatment onggok menggunakan *Aspergillus niger* 0,1% menurun hingga 120 jam. Penurunan TSS terjadi pada setiap perlakuan konsentrasi onggok. Padatan tersuspensi yaitu substrat onggok dihidrolisis oleh *Aspergillus niger* menghasilkan gula sederhana yang larut air. Hal ini mengakibatkan TSS menurun selama pretreatment.

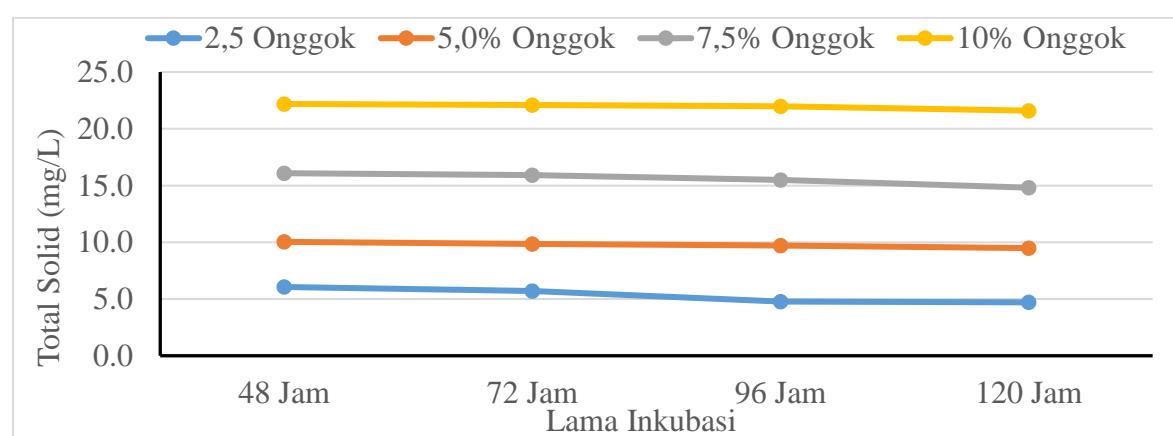


Gambar 13. Pengaruh konsentrasi onggok dan lama inkubasi terhadap pH pada penambahan *Aspergillus niger* 0,1%.



Gambar 14. Pengaruh konsentrasi onggok dan lama inkubasi terhadap TSS pada penambahan *Aspergillus niger* 0,1%.

Pretreatment onggok menggunakan air effluent biogas reaktor yang masih mengandung mikroorganisme alami. Mikroorganisme alami mendegradasi onggok menjadi gas dalam jumlah kecil. Degradasi onggok menjadi gas dapat menurunkan TS. Gambar 15 menunjukkan total solid (TS) pretreatment onggok pada konsentrasi onggok 2,5%; 5,0%; 7,5%; dan 10% menurun selama 48 jam, 72 jam, 96 jam, dan 120 jam. Penurunan TS dapat terjadi karena selama fermentasi juga terbentuk gas. Gas yang terbentuk karena air biogas reaktor yang digunakan juga mengandung mikroorganisme pengurai lain selain *Aspergillus niger*. Mikroorganisme lain tersebut mengurai onggok dan menghasilkan gas selama proses inkubasi sehingga mengurangi TS.



Gambar 15. Pengaruh konsentrasi onggok dan lama inkubasi terhadap TS pada penambahan *Aspergillus niger* 0,1%.

2.2. Luaran Penelitian

Luaran penelitian berupa naskah publikasi jurnal internasional sudah selesai dalam bentuk draft seperti terlampir.

3. KESIMPULAN DAN SARAN

3.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan seperti disajikan pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan onggok berhasil meningkatkan produksi biogas.
2. Pemberian waktu tunda selama 0, 3, 4, dan 5 hari terhadap campuran onggok dan air limbah segar tapioka meningkatkan produksi biogas masing-masing sebesar 73,01 %; 61,29 %; 66,10 %; dan 46,44 % dibandingkan dengan perlakuan kontrol (tanpa penambahan onggok).
3. Waktu tunda campuran onggok dan air limbah segar tapioka terbaik yaitu selama 3 hari yang memberikan peningkatan produksi biogas sebesar 61,29 % dengan produksi kumulatif sebesar 1927,5 mL biogas, dan peningkatan gas metana sebesar 59 % dengan total metana kumulatif sebesar 1018,3 mL gas metana, serta produktivitas metana sebesar 0,60 L/g T-COD_{removed} atau 25,5 L/gCODs-removed dengan konsentrasi gas metana rata-rata selama proses dekomposisi 20 hari sebesar 55,83 %.
4. Pretreatment onggok pada air effluent biogas reaktor menggunakan *Aspergillus niger* 0,1% meningkatkan total *soluble chemical oxygen demand* (CODs) dan total gula, menurunkan pH, *total suspended solid* (TSS), dan *total solid* (TS).
5. Pretreatment menggunakan *Aspergillus niger* dengan konsentrasi onggok 2,5% selama 96 jam dapat menghasilkan total *soluble chemical oxygen demand* (COD-s) tertinggi yaitu 144,67 mg/L per gram onggok.

3.2. Saran

Penggunaan *Aspergillus niger* untuk pretreatment onggok dapat meningkatkan kelarutan onggok sebagai substrat tambahan (co-substrate) untuk produksi biogas. Oleh karena perlu diuji efek perlakuan *Aspergillus niger* terhadap onggok dalam kaitannya dengan produksi biogas.

REFERENSI

- Ahmad, A. 2009. *Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Limbah Cair*. UNRI Press.
- Broughton, A.D. 2009. Hydrolysis and Acyrogenesis of Farm Dairy Effluent for Biogas Production at Ambient Temperatures. *Thesis*. Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- Cecconet, D., Callegari, A., and Capodaglio, A.G. 2022. UASB performance and perspectives in urban wastewater treatment at sub-mesophilic operating temperature. *Water J*. 14: 115.
- Farghaly, A. and Tawfik, A. 2016. Simultaneous Hydrogen and Methane Production Through Multi-Phase Anaerobic Digestion of Paperboard Mill Wastewater Under Different Operating Conditions. *Appl Biochem Biotechnol*. 181(1):142 – 156.
- Haryanto, A., Hasanudin, U., Afrian, C., and Zulkarnaen, I. 2018. Biogas Production from Anaerobic Codigestion of Cowdung and Elephant Grass (*Pennisetum Purpureum*) Using Batch Digester. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 141: 012011.
- Iriani, P., Suprianti, Y., dan Yulistiani, F. 2017. Fermentasi Anaerobik Biogas Dua Tahap Dengan Aklimatisasi dan Pengkondisian pH Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*. 1(1): 1 – 10.
- Kahar, A., Warmadewanthi, I., and Hermana, J. 2018. Effect Of pH On Liquid-Phase Mass Transfer And Diffusivity Coefficient At Leachate Treatment Of Municipal Waste Landfill In Anaerobic Bioreactor. *Eksperi*. 15(2): 24 – 33.
- Mangunwidjaja, D., dan Suryani, A. 1994. *Teknologi Bioproses*. Penebar Swadaya. Jakarta
- Manurung, R. 2004. *Proses Anaerobik sebagai Alternatif untuk Mengolah Limbah Sawit*. Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Osuna, M.B., Zandvoort, M.H., Iza, J.M., Lettinga, G., and Lens, P.N.L. 2003. Effects Of Trace Element Addition On Volatile Fatty Acid Conversions In Anaerobic Granular Sludge Reactors. *Environmental Technology*. 24(5): 573 – 587.
- Ponsa, S., Iveta, F., Felicitas, V., and Xavier, F. 2008. Optimization of The Hydrolytic-Acidogenic Anaerobic Digestion Stage (55 OC) of Sewage Sludge: Influence of pH and Solid Content. *Water Research*. 42: 3972–3980.
- Rusdiyono, A.P., Kirom, M.R., dan Qurthobi, A. 2017. Perancangan Alat Ukur Konsentrasi Gas Metana dari Anaerobic Baffled Reactor (ABR) Semi-Kontinyu dengan Substrat Susu Basi. *E-Proceeding Of Engineering*. 4 (1): 580 – 588.

- Saputra, T., Triatmojo, S., dan Pertiwiningrum, A. 2010. Produksi biogas dari campuran feses sapi dan ampas tebu (bagasse) dengan rasio C/N yang berbeda. *Buletin Peternakan*. 34(2): 114 – 122.
- Sopandi, T., dan Wardah. 2014. *Mikrobiologi Pangan*. Penerbit Andi. 493 halaman
- Suksaroj, T.T., Yaeed, S., and Suksaroj, C. 2020. The Effect Of POME Ultrasonication Pretreatment On Biogas Production And Reduction Of Greenhouse Gases Emissions From Wastewater Treatment Units Of Palm Oil Mills. *Desalination and Water Treatment*. 202 (2020): 86 – 94.
- Suroso, E. (2011). *Model Proses Produksi Industri Tapioka Ramah Lingkungan Berbasis Produksi Bersih (Studi Kasus Di Provinsi Lampung)*. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Lampiran: Draft paper jurnal internasional

Improving Biogas Production in Tapioca Industry by Using Onggok as Co-substrate

Udin Hasanudin^{1,*}, Nadia Dwi Safira¹, Fibra Nurainy¹, Tanto Pratondo Utomo¹, Agus Haryanto²

¹⁾ Department of Agroindustrial Technology, Faculty of Agriculture, University of Lampung

²⁾ Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, University of Lampung

*) Corresponding author: udinha@fp.unila.ac.id

ABSTRACT

Onggok or cassava pulp can be explored as co-substrate for biogas production in tapioca industry. However, it is a complex organic matter that need pretreatment to improve its digestibility, such as providing retention time for the hydrolysis-acidogenesis phase. The purpose of this study was to determine the best retention time for hydrolysis-acidogenesis step of cassava pulp and tapioca wastewater for biogas production. Experiment was conducted by using anaerobic batch bioreactor with active volume of 1000 mL equipped with biogas measuring equipment. Substrate was prepared by adding 10% (w/w) cassava pulp into the tapioca waste water and mixed till homogenous. The mixture was then added with sludge as bacteria source at a ratio of 1:4 (substrate mixture : sludge). Retention time for hydrolysis-acidogenesis stage was varied from 0 (A), 3 (B), 4 (C), and 5 days (D). Biogas production was conducted for 20 days. A control treatment (K) using only waste water and sludge without wet cake addition was also performed for comparison. All treatments, including control, were replicated two times to get the average measurement. Parameters including pH, TS, TSS, TVA, and COD were analyzed on day 0 (initial) and day 20 (final), while biogas volume and its composition were examined every day. The results showed an increasing trend in the values of pH in each test sample. Biogas production increased by 73.01%, 61.29%, 66.10%, and 46.44% in samples A, B, C, and D, while total methane increased by 67.42%, 58.73%, 68.83%, and 48.01%. Thus, 4 days of retention time in the hydrolytic–acidogenic phase for cassava pulp and tapioca fresh wastewater was found as the best time, with the result of increasing biogas production by 66.10% and total methane gas by 68.83%, and average methane content of 57.58%.

Keywords: hydrolysis-acidogenesis, cassava pulp, biogas production, retention time

1. INTODUCTION

Cassava starch is an important tapioca flour industry in Lampung Province because this area produces the largest cassava (34%) of the total cassava production in Indonesia ([BPS, 2015](#)). The tapioca starch extraction process produces the main waste in the form of waste water and onggok or cassava pulp, and peels. Cassava processing requires a lot of water for washing sweet potatoes, grinding or grating (grinding/raspig), fiber and pulp separation (extractor), and starch separation (separator). The quantity of waste is highly dependent on the technology used. Mass balance analysis in the modern tapioca industry shows that every ton of cassava (60% moisture content) requires 4.28 m³ of water and will produce 238 kg of dry tapioca (12%), 4.54 m³ of wastewater, 380 wet soil-sand, and 333 kg cassava pulp (moisture content 35-40%) ([Chavalparit & Ongwandee, 2009](#)). The simple tapioca industry produces a lower starch yield, which is 18.74% ([Mustafa, 2015](#)). This tapioca industrial waste, both liquid and solid waste, has a high content of organic matter ([Fogaça et al., 2015](#)). Tapioca wastewater is rich in organic matter with a COD content of between 18,000 and 25,000 mg/L ([Haryanto & Hassanudin, 2011](#)) so that it can be used as a substrate to produce biogas. Biogas is used as fuel to generate heat for drying tapioca or generate electricity for processing purposes at the tapioca factory or distributed through the PLN network. In Lampung Province, which is the largest producer of cassava in Indonesia, more and more tapioca industries are now equipping themselves with biogas digester facilities, especially by using a closed lagoon system.

Biogas production is a function of the amount of tapioca wastewater which is directly affected by the availability of cassava cassava raw materials. This is due to the uneven harvest of cassava each year. The amount of cassava that is milled at the mill depends on the season. Cassava production is also influenced by the price of cassava and the price of competing commodities such as corn. If the price of cassava is good, farmers will flock to plant cassava so that the supply of cassava will be abundant. Conversely, when the price of cassava is low or the price of corn is high, farmers are reluctant to plant cassava so that the supply of cassava falls. With these conditions, the tapioca industry in Lampung is very vulnerable to experiencing a shortage of raw materials which results in a decline in the tapioca production process and by-products in the form of industrial waste. This condition, in turn, will certainly disrupt the stability of the biogas production system.

To meet the substrate requirements for biogas digesters in the tapioca industry, additional sources of feed stock are needed to obtain more biogas energy. One of the efforts to overcome the

lack of substrate biogas in tapioca plants is to use cassava pulp as a co-substrate. When viewed from the concentration of organic matter contained in tapioca solid waste, the onggok wet cake has the potential to be used as raw material for biogas by mixing it into fresh tapioca wastewater. Cassava pulp is high in carbohydrates, with starch as the main component of polysaccharides reaching 60-69% ([Djuma'ali et al., 2013](#); [Kosugi et al., 2009](#); [Sriroth et al., 2000](#)). Cassava pulp is an organic material that is more complex than wastewater so it will be more difficult to decompose. Therefore, the proportion of wet cake added to tapioca wastewater will greatly determine its success. In addition, because it is more difficult to decompose, pretreatment is needed to increase its digestibility. It needs some development on how to increase the soluble material from cassava which is easily converted into biogas anaerobically ([Wintolo & Isdiyanto, 2011](#)).

The biogas formation process includes four phases or reactions, namely hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis, and methanogenesis. This process is strongly influenced by several parameters, namely pH, temperature, substrate characteristics, and hydraulic residence time. The hydrolysis-acidogenesis reaction is a waste condition consisting of organic components (polymers) which will decompose into simple compounds (monomers). The delay time to facilitate the hydrolysis-acidification process is expected to increase the solubility of the wet cake-waste water mixture. The study of hydrolysis and acidogenesis was carried out by ([Ponsá et al., 2008](#)) by conducting research on making biogas from sewage sludge and obtained the optimal biogas at a hydraulic residence time of 4 days at a temperature of 55 °C. Therefore, this study was conducted with the aim of evaluating the effect of adding wet cake to fresh wastewater and retention time for hydrolysis-acidogenesis on biogas production from the wet cake-wastewater mixture. The results of the study are expected to be one solution to overcome the lack of substrate for the biogas digester in the tapioca factory.

2. MATERIALS AND METHODS

The materials used in the study were fresh tapioca waste, onggok, and inoculum in the form of an active sludge of tapioca waste, each of which was obtained from a tapioca factory located in Central Lampung, Lampung Province. The materials were characterized to find basic, important parameters such as pH, COD, TS, and TSS. Cassava pulp was added into tapioca fresh waste at a ratio of 20 g over 180 mL or 10% of the total substrate. The substrate mixture was then introduced into a 1000 mL Erlenmeyer glass as the digester and was kept at room temperature for different

retention time, namely 0, 3, 4, and 5 days. This delaying time is purposed to facilitate hydrolysis step prior to the metahantion step. Following the delaying time, 800 mL sludge was added into the glass as the bacteria seed source and the anaerobic digestion was started. The ratio of substrate mixture and seed sludge was 1:4. Figure 1 provided process flow diagram for this experiment. To evaluate the effect of cassava pulp addition, a control treatment using fresh tapioca wastewater (200 mL) and sludge (800 mL) without cassava pulp addition was also performed. All treatment arrangements were facilitateted with biogas yield measurement using a simple water replacement method as can be observed in Figure 1. Table 1 shows substrate composition and delaying time for all treatments. The anaerobic digestion was run for 20 days. All treatments were replicated twice to get the average value of observed parameters. The analyzes carried out included: pH, TVA (Total Volatile Solid), Total COD, soluble COD, biogas yield, and biogas composition. Observations made in this study included an analysis of the pH value which was carried out on day 0 and day 20.

Table 1. Treatment delay time for fresh tapioca and cassava waste water

Sample Code	Tapioca wastewater (mL)	Cassava pulp (g)	Sludge (mL)	Delaying time (d)
K	200	0	800	0
A	180	20	800	0
B	180	20	800	3
C	180	20	800	4
D	180	20	800	5



Figure 1. Digester arrangement to evaluate cassava pulp addition and delaying time during biogas production using tapioca wastewater.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Chemical Oxygen Demand (COD)

The effect of adding cassava and the delay time of the cassava mixture was observed from changes in COD (Chemical Oxygen Demand), pH, total volatile acid (TVA), biogas production, and CH₄ content in biogas. Figure 1 shows the changes in dissolved COD values (CODs) produced in this study. From Figure 1, it can be seen that there is a decrease in the value of CODs which indicates that there is a decrease in the performance of microorganisms from day 0 to day 20. The decrease in CODs concentration indicates a fairly good CODs conversion rate. That is, the anaerobic decomposition process is able to reduce the value of CODs on the substrate so as to reduce the contamination load on the substrate in the reactor ([Saputra et al., 2012](#)).

COD solubility can be expressed as the ratio of dissolved COD to total COD (CODs/T-COD) which states the success rate of the hydrolysis phase degradation process. Figure 2 shows the change in the CODs/T-COD ratio which is affected by the delay time of the pile mixture. Initially the CODs/T-COD ratio varied from 0.041 to 0.065 where the highest value on day 0 occurred in sample K (control), which was a sample without the addition of hemp so that the degradation process took place more quickly. The addition of cassava can increase the degradation load in the

waste because cassava is a complex material. According to ([Cecconet et al., 2022](#)), wastewater that has a complex mixture (suspended solid content 50-60% of TCOD) will produce a relatively low CODs/T-COD ratio.



Figure 1. Changes in CODs value after 20 days (K = Control; A = delay time 0 days; B = delay time 3 days; C = delay time 4 days; and D = delay time 5 days).

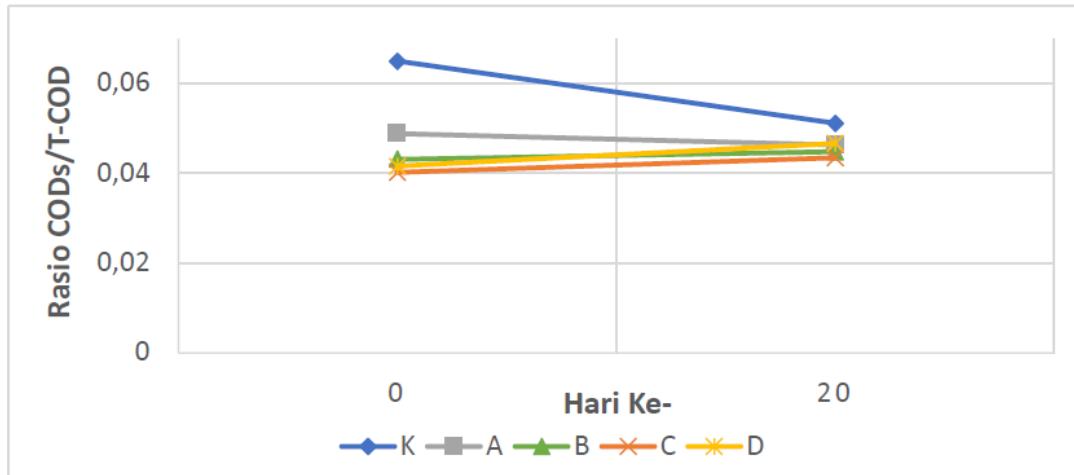


Figure 2. Change on ratio of CODs/T-COD after 20 days (K = Control; A = delay time 0 days; B = delay time 3 days; C = delay time 4 days; and D = delay time 5 days).

After 20 days of anaerobic degradation, the CODs/T-COD ratio increased from 1.0% to 1.1%. Although not significant, the change in the value of the CODs/T-COD ratio indicates that

the time delay will increase the value of CODs in the waste. This means that the waste that gets a delay will increase its biodegradability. During this time delay, organic matter will decompose into simpler components so that it will affect the digestibility of the substrate in the biogas system ([Suksaroj et al., 2020](#)).

The effect of the delay time on the onggok mixture can also be seen from the change in the value of Total Volatile Acid (TVA). TVA production illustrates the potential for volatile organic materials which can then be converted into methane gas. TVA affects the anaerobic degradation process, because the accumulation of volatile acids in the anaerobic process will reduce the conversion of acetate, propionic and other fatty acid compounds into methane in the system ([Osuna et al., 2003](#)). From Figure 3 we can see a decrease in the value of TVA from day 0 to day 20. The highest change in TVA value occurred in sample B (3 days delay) where the TVA value decreased from 930 mg/L (day 0) to slightly lower than 600 mg/L. The magnitude of the decrease in the value of TVA indicates the success rate of the acidification process. In this study, the best acidogenesis reaction was at a time delay of 3 days in which the changes in volatile acids were higher than the control samples and other treatment delays. ([Broughton, 2009](#)) in his research, obtained a total volatile acid of 635 mg/L which is considered the optimal TVA value in biogas production. During the decomposition process for 20 days, volatile acids can be formed in the acetogenesis process and can be converted during the methanogenesis process, because both processes occur in the same space. A decrease in the value of TVA on the 20th day indicates that most of the volatile acids have been converted to methane gas. Reducing the substrate concentration will decrease the TVA concentration. This is in accordance with the statement of ([Kahar et al., 2018](#)), the greater the concentration of the reduced substrate, the greater the dissolved organic matter that is biodegraded into organic acids. This organic acid is then converted into methane gas. The trend of decreasing TVA value in this study is indicated because the TVA conversion rate is greater than the TVA production rate.

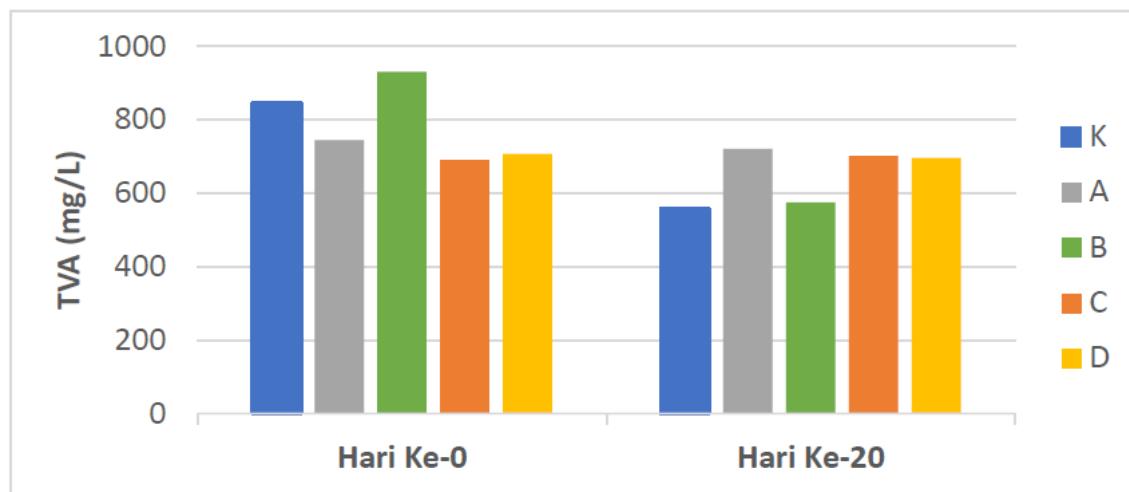


Figure 3. Change on Total Volatile Acid (TVA) value after 20 days (K = Control; A = delay time 0 days; B = delay time 3 days; C = delay time 4 days; and D = delay time 5 days).

Another important parameter in the anaerobic decomposition process is pH. The use of high concentration sludge will increase the pH value to 6.8 – 7.2 ([Ponsá et al., 2008](#)). The delay time of the pile mixture has resulted in a distinct increase in pH during the anaerobic process (Figure 4). On day 0 the pH values ranged from 7.15 (control) to 7.23 (B, 3 day delay). Based on the pH value, all treatments had a good pH value for biogas production. According to ([Lay et al., 1997](#)), during the methanogenesis process the pH should be in the interval of 6.6 – 7.6 with the optimum pH between close to 7.0. The decrease in pH will inhibit the formation of biogas. On the other hand, too high a pH value should also be avoided, because it will cause the final product to be dominated by CO₂ as the main product ([Rusdiyono et al., 2017](#)).

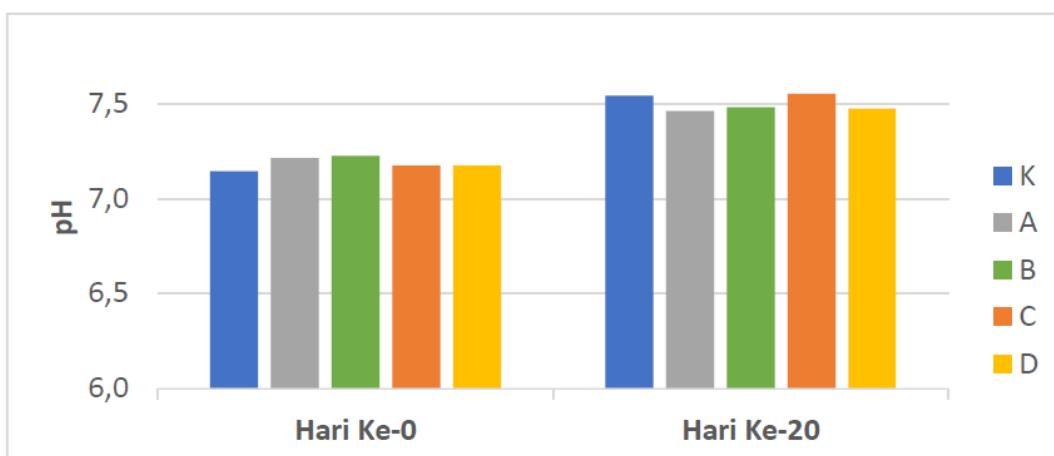


Figure 4. Change in pH value after 20 days (K = Control; A = delay time 0 days; B = delay time 3 days; C = delay time 4 days; and D = delay time 5 days).

Biogas production will be a determining parameter for the success of the anaerobic decomposition system. Daily and cumulative biogas production are presented in Figures 5 and 6. Figure 5 shows an increase in biogas volume on day 2 and a significant decrease in biogas volume on day 3 until day 5 and a relatively constant decrease until day 10 until a stable daily biogas production is obtained until the 20th day. The addition of onggok with pretreatment in the form of a delay in this study resulted in a higher volume of biogas compared to sample K without the addition of onggok. This is because, the delay time provides an opportunity for bacteria during the hydrolysis and acidogenesis process to remodel the hemp in fresh tapioca wastewater so that it increases the value of CODs which then produces volatile acids to be further converted into CH₄ and CO₂ gas.

According to [\(Jiang et al., 2020\)](#), the increase in organic load causes the system to produce higher volatile fatty acids and therefore decrease biogas specific yield. The decrease in biogas production from day 4 to day 20 is not in line with the T-COD value which is still quite high on day 20. This is because the T-COD value gives measurement results consisting of COD_p and CODs. When viewed from the ratio of CODs/T-COD (Figure 2), it can be seen that the dissolved organic matter that can be consumed by colonizing methanogenic bacteria is only about 4 – 6%. This means that the substrate that can be converted into methane gas (CH₄) during biogas production is 4-6%, whereas a high CODs value is expected to result in higher production as well. The removal of very low T-COD values strengthens the value of the CODs/T-COD ratio which indicates that the sample consists of COD_p (particulate) which cannot be consumed or degraded during the biogas formation process. Therefore, in a short period of time, most of the dissolved organic matter has been consumed and the remaining particulate matter is calculated as the T-COD value.

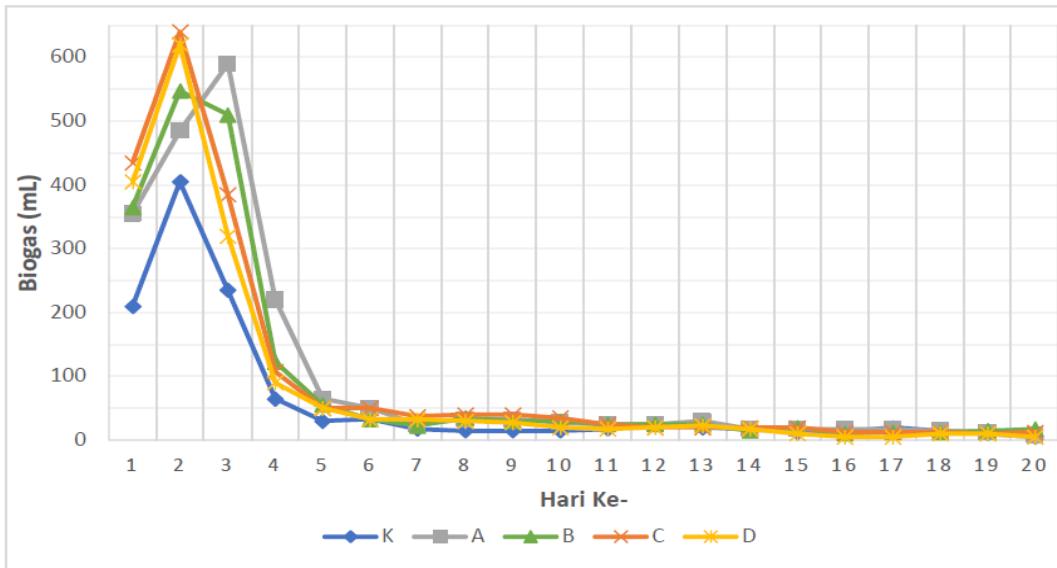


Figure 5. Daily biogas production for 20 days (K = Control; A = delay time 0 days; B = delay time 3 days; C = delay time 4 days; and D = delay time 5 days).

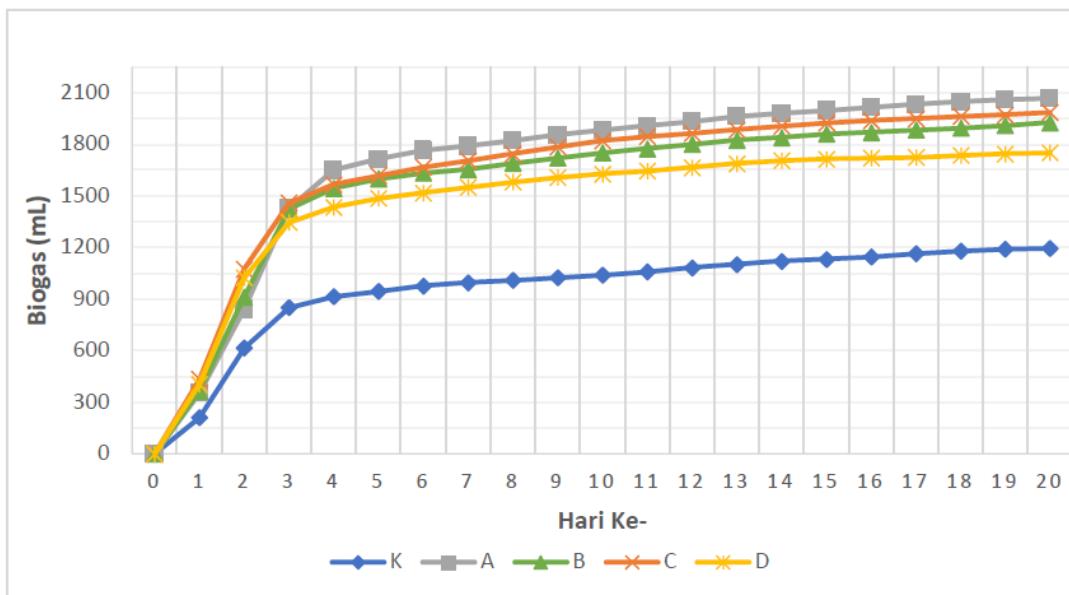


Figure 6. Acummulation of biogas production for 20 days (K = Control; A = delay time 0 days; B = delay time 3 days; C = delay time 4 days; and D = delay time 5 days).

The cumulative biogas volume obtained for 20 days for samples K, A, B, C, and D was 1,195 mL, 2,067.5 mL, 1,927.5 mL, 1,985 mL, and 1,750 mL, respectively. Time delay treatment of tapioca waste and 0, 3, 4, and 5 days of waste water increased biogas production by 73.01 %,

respectively; 61.29%; 66.10%; and 46.44% compared to the control treatment (without the addition of cassava). This shows that the addition of onggok with the provision of a delay time provides an increase in biogas production.

Biogas has a main composition consisting of methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2). The quality of biogas is judged by the methane content in it (the higher the better). Figure 7 shows the concentration of methane gas (CH_4) which is quite low on day 1 but shows an increase on day 2. The low concentration of CH_4 on the first day indicates that methanogenic bacteria are still adapting to the new environment so that the decomposition process into methane cannot occur optimally. That is, on the first day of gas formation occurs from the process of acidogenesis which forms volatile acids, H_2 , and CO_2 . Most of the H_2 and CO_2 are mainly produced because the rate of consumption of CODs by the activity of acidogenic bacteria is more dominant (Farghaly & Tawfik, 2017). During the 20-day anaerobic process, it was seen that treatment C showed a fairly constant CH_4 concentration in the range of 57.2 – 58.6%, followed by sample A (57.4 – 59.2%), sample D (56.8 – 59.4 %), and sample B (55.2 – 57.2). The methanogenesis process will produce CH_4 as the main product. Fermentation conditions with raw materials that have undergone an acidogenesis-acetogenesis process (namely acetic acid) will be easier and faster to be used by methanogenic bacteria to be converted into CH_4 and CO_2 (Iriani *et al.*, 2017).

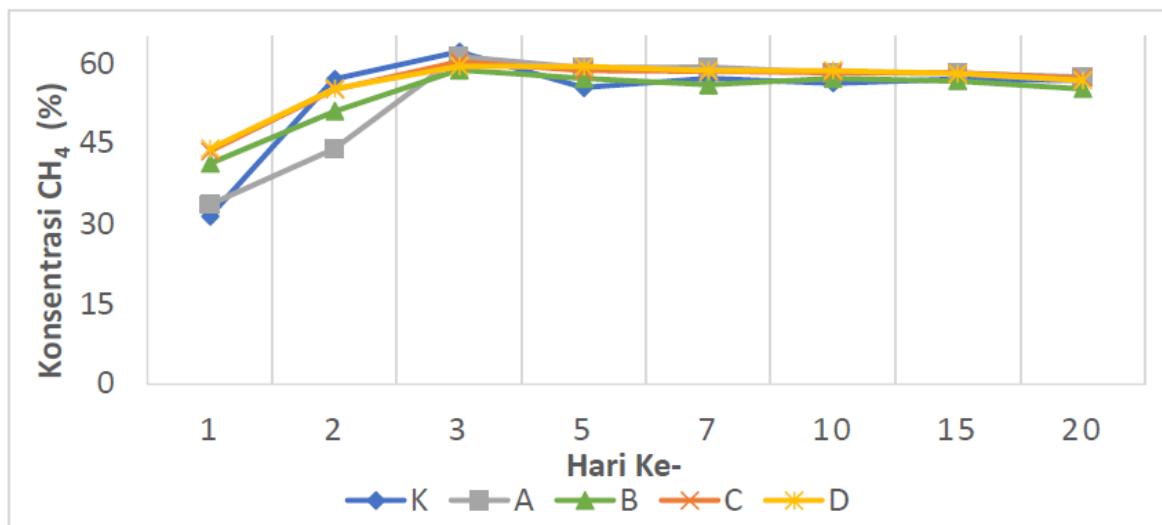


Figure 7. Methane content in biogas during 20 days (K = Control; A = delay time 0 days; B = delay time 3 days; C = delay time 4 days; and D = delay time 5 days).

The energy potential of biogas can be seen from the total methane obtained during 20 days of anaerobic decomposition by multiplying the methane concentration on the day dated by the volume of biogas obtained on the day dated. Figure 8 shows the cumulative total methane for 20 days of anaerobic decomposition. The highest total methane was obtained by sample C of 1083.1 mL CH₄ followed by sample A (1074 mL) and the lowest total methane was obtained by sample K of 641.5 mL CH₄. Provision of treatment delay time onggok and tapioca fresh wastewater for 0 (without delay time), 3, 4, and 5 days gave an increase in total methane of 67.42%, respectively; 58.73%; 68.83%; and 48.01% compared to the control treatment (without the addition of cassava). This shows that the treatment delay time of the mixture of onggok and fresh tapioca wastewater has an effect on the total methane produced. Sample C (with a delay of 4 days) is a fairly good treatment because the highest total methane obtained during the 20-day anaerobic process so that it has the potential to be used as biogas energy.

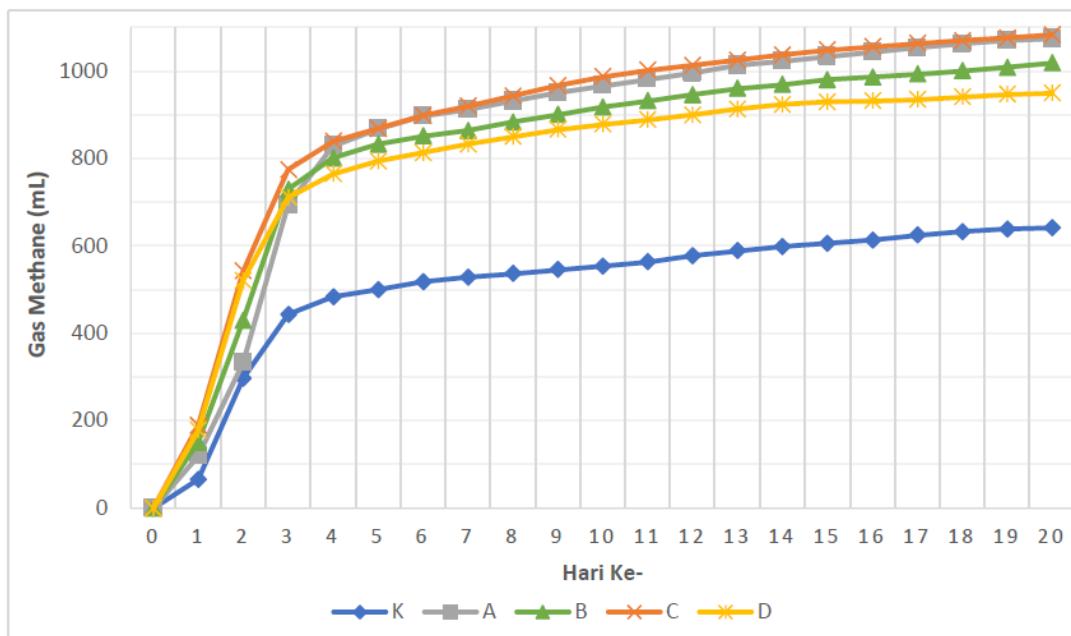


Figure 8. Acummulation of methane production for 20 days (K = Control; A = delay time 0 days; B = delay time 3 days; C = delay time 4 days; and D = delay time 5 days).

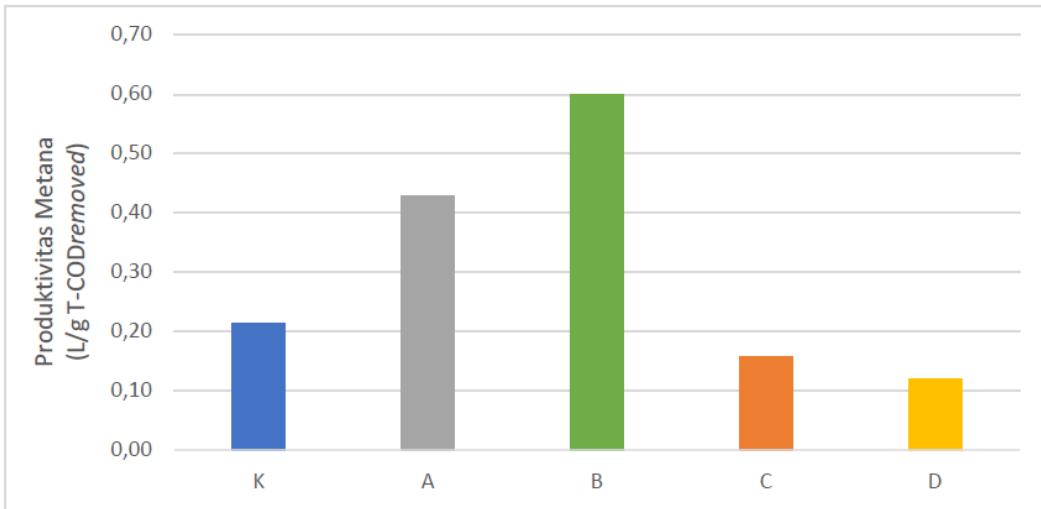


Figure 9. Methane productivity based on T-COD removed (K = Control; A = delay time 0 days; B = delay time 3 days; C = delay time 4 days; and D = delay time 5 days).

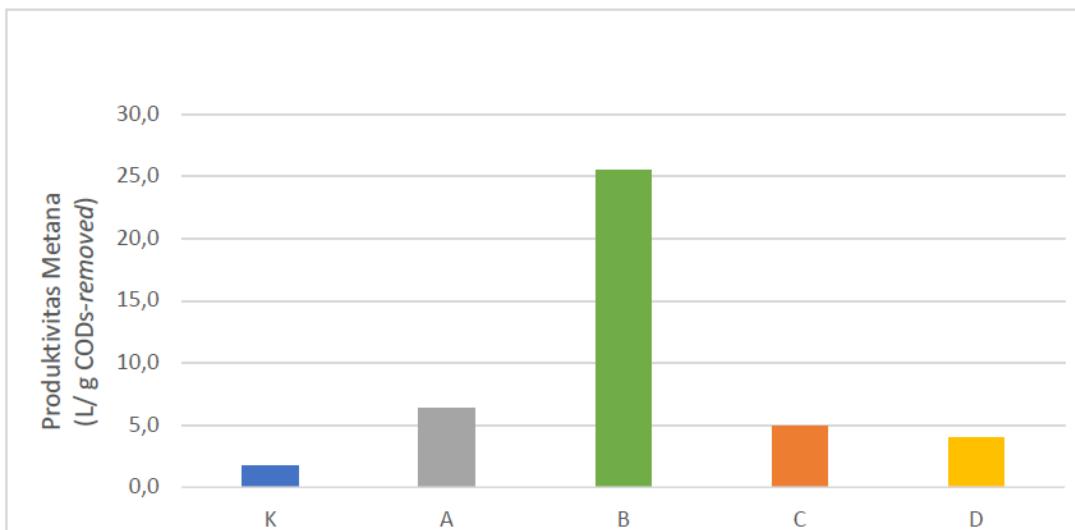


Figure 10. Methane productivity based on CODs removed (K = Control; A = delay time 0 days; B = delay time 3 days; C = delay time 4 days; and D = delay time 5 days).

Methane productivity is calculated from total methane production divided by T-COD removed or CODs-removed. Methane productivity shows the yield per unit gram of T-COD or CODs of methane gas produced, while for total methane production is the result of the straightness of methane gas produced during the study. Figure 9 and Figure 10 show the methane productivity by T-COD removed and CODs removed. The highest methane productivity was in sample B for

20 days of anaerobic decomposition, which was 0.60 L/g T-COD removed or 25.5 L/gCODs removed. Sample K showed the lowest methane productivity at 0.21 L/g T-COD removed or 1.7 L/g CODs removed. The high productivity of methane in sample B is categorized as very good because it is accompanied by a fairly high concentration of methane gas with an average methane concentration of 55.83%. Methane productivity is strongly influenced by the total biogas production produced and the concentration of methane gas. According to (Haryanto *et al.*, 2018), biogas productivity is influenced by the total biogas production produced and the amount of organic matter degraded by bacteria during the anaerobic decomposition process.

4. CONCLUSION

The addition of cassava pulp increased biogas production by 73.01 %; 61.29%; 66.10%; and 46.44% for delaying time of 0, 3, 4, and 5 days, respectively, compared to the control treatment (without the addition of cassava pulp). The best delay time for the mixture of cassava pulp and fresh tapioca wastewater is 4 days which gives an increase in biogas production by 66.10% with a cumulative production of 1985 mL biogas and an increase in methane gas amounted to 68.83% with a cumulative total methane of 1083.1 mL of methane gas, and the average concentration of methane gas during the 20-day decomposition process was 57.58%. Cassava pulp, however, is complex material that is more difficult to decompose. Therefore, pretreatment to improve cassava pulp solubility will be important to be evaluated.

REFERENCES

- Broughton, A. D. (2009). *Hydrolysis and Acydogensis of Farm Dairy Effluent for Biogas Production at Ambient Temperatures. Thesis.* [Master Thesis]. Massey University.
- Cecconet, D., Callegari, A., & Capodaglio, A. G. (2022). UASB performance and perspectives in urban wastewater treatment at sub-mesophilic operating temperature. *Water*, 14(1), 115. <https://doi.org/10.3390/w14010115>
- Chavalparit, O., & Ongwandee, M. (2009). Clean technology for the tapioca starch industry in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 17(2), 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.03.001>

- Djuma'ali, D., Soewarno, N., Sumarno, S., Primarini, D., & Sumaryono, W. (2013). Cassava pulp as a biofuel feedstock of an enzymatic hydrolysis proces. *Makara Journal of Technology*, 15(2), 183. <https://doi.org/10.7454/mst.v15i2.938>
- Farghaly, A., & Tawfik, A. (2017). Simultaneous Hydrogen and Methane Production Through Multi-Phase Anaerobic Digestion of Paperboard Mill Wastewater Under Different Operating Conditions. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 181(1), 142–156. <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2204-7>
- Fogaça, F. H., Sant'Ana, L. S., Lara, J. A. F., Mai, A. C. G., & Carneiro, D. J. (2015). Restructured products from tilapia industry byproducts: The effects of tapioca starch and washing cycles. *Food and Bioproducts Processing*, 94, 482–488. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.07.003>
- Haryanto, A., Hasanudin, U., Afrian, C., & Zulkarnaen, I. (2018). Biogas production from anaerobic codigestion of cowdung and elephant grass (*Pennisetum Purpureum*) using batch digester. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 141, 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/141/1/012011>
- Haryanto, A., & Hassanudin, U. (2011). *Pemetaan Potensi Biogas di Provinsi Lampung* [Poster Presentation]. Seminar dan Eksibisi Indo Bioenergy, Jakarta.
- Iriani, P., Suprianti, Y., & Yulistiani, F. (2017). Fermentasi anaerobik biogas dua tahap dengan aklimatisasi dan pengkondisian pH fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v1i1.16>
- Jiang, J., He, S., Kang, X., Sun, Y., Yuan, Z., Xing, T., Guo, Y., & Li, L. (2020). Effect of Organic Loading Rate and Temperature on the Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste: Process Performance and Energy Recovery. *Frontiers in Energy Research*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2020.00089>
- Kahar, A., Warmadewanthi, I., & Hermana, J. (2018). Effect of pH on liquid-phase mass transfer and diffusivity coefficient at leachate treatment of municipal waste landfill in anaerobic bioreactor. *Eksperi*, 15(2), 24. <https://doi.org/10.31315/e.v15i2.2327>
- Kosugi, A., Kondo, A., Ueda, M., Murata, Y., Vaithanomsat, P., Thanapase, W., Arai, T., & Mori, Y. (2009). Production of ethanol from cassava pulp via fermentation with a surface-engineered yeast strain displaying glucoamylase. *Renewable Energy*, 34(5), 1354–1358. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.09.002>

- Lay, J.-J., Li, Y.-Y., & Noike, T. (1997). Influences of pH and moisture content on the methane production in high-solids sludge digestion. *Water Research*, 31(6), 1518–1524.
[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00413-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00413-7)
- Mustafa, A. (2015). Analisis proses pembuatan pati ubi kayu (tapioka) berbasis neraca massa. *Agrointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 9(2), 127–133.
- Osuna, M. B., Zandvoort, M. H., Iza, J. M., Lettinga, G., & Lens, P. N. L. (2003). Effects of trace element addition on volatile fatty acid conversions in anaerobic granular sludge reactors. *Environmental Technology*, 24(5), 573–587.
<https://doi.org/10.1080/09593330309385592>
- Ponsá, S., Ferrer, I., Vázquez, F., & Font, X. (2008). Optimization of the hydrolytic–acidogenic anaerobic digestion stage (55°C) of sewage sludge: Influence of pH and solid content. *Water Research*, 42(14), 3972–3980. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.07.002>
- Rusdiyono, A. P., Kirom, M. R., & Qurthobi, A. (2017). Perancangan alat ukur konsentrasi gas metana dari Anaerobic Baffled Reactor (ABR) semi-kontinyu dengan substrat susu basi. *E-Proceeding of Engineering*, 4(1), 580–588.
- Saputra, T., Triatmojo, S., & Pertiwiningrum, A. (2012). Produksi biogas dari campuran feses sapi dan ampas tebu (bagasse) dengan rasio C/N yang berbeda. *Buletin Peternakan*, 34(2), 114–122. <https://doi.org/10.21059/buletinpeternak.v34i2.97>
- Sriroth, K., Chollakup, R., Chotineeranat, S., Piyachomkwan, K., & Oates, C. G. (2000). Processing of cassava waste for improved biomass utilization. *Bioresource Technology*, 71(1), 63–69. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00051-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00051-6)
- Suksaroj, T. T., Yaed, S., & Suksaroj, C. (2020). The effect of POME ultrasonication pretreatment on biogas production and reduction of greenhouse gases emissions from wastewater treatment units of palm oil mills. *DESALINATION AND WATER TREATMENT*, 201, 86–94. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26163>
- Wintolo, M., & Isdiyanto, R. (2011). Prospek pemanfaatan biogas dari pengolahan air limbah Industri tapioka. *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, 10(2), 103–112.