PENGARUH KOMPOSISI SUBSTRAT LIMBAH TEMPE TERHADAP WAKTU *START-UP* PROSES PENGURAIAN ANAEROBIK MENGGUNAKAN REAKTOR ALIR TANGKI BERPENGADUK (RATB)

Husna kamilia¹, Sri rezeki¹, Rinjani ratih¹
¹Teknik Kimia, Universitas Tanjungpura, Pontianak

Email korespondensi: husna_kamiaa@student.untan.ac.id

Abstrak

[10.26418/pipt.2021.17](https://doi.org/10.26418/pipt.2021.17)

Limbah tempe bisa diolah menjadi biogas melalui proses penguraian anaerobik. Penguraian anaerobik ini dipengaruhi oleh fase *start up*, di mana fase *start up* merupakan fase penumbuhan bakteri anaerob sampai terbentuknya biogas. Pengaruh keberhasilan *start up* sering kali bergantung pada kondisi reaktor yaitu efektivitas pengadukan dan pencampuran substrat dalam proses tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi substrat dari limbah tempe terhadap waktu *start up* yang diperlukan oleh RATB dapat ditinjau dari analisis VS, pH, volume gas, dan CH₄. Waktu *start up* dilakukan dalam sistem semi *batch* yang terbagi atas dua siklus dengan konsentrasi substrat yang berbeda. Untuk siklus pertama substrat yang dimasukkan lebih encer dengan perbandingan komposisi 3:1 antara limbah cair tempe dengan ampas tempe, sedangkan untuk siklus kedua, dilakukan *feeding* menggunakan substrat yang lebih kental dengan konsentrasi 2:1 antara limbah cair tempe dan ampas tempe. Waktu *start up* dilakukan hingga proses penguraian anaerobik berada pada fase stasioner. Analisis parameter pengamatan dilakukan dengan pengambilan sampel setiap hari sekali untuk analisis VS, metana, volume gas dan pH. Hasil Pengaruh komposisi substrat dengan perbandingan 3:1 dan 2:1 antar limbah cair tempe dan ampas tempe memperoleh waktu *start up* untuk siklus pertama antar 12-14 hari sedangkan untuk siklus kedua berada pada 11-19 hari.

Kata kunci: Anaerobik, limbah tempe, RATB, *start up*.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi meningkat setiap hari, hal ini disebabkan oleh pertumbuhan penduduk yang terus mengalami peningkatan. Menurut Badan Energi Internasional (IEA) permintaan energi di seluruh dunia tercatat meningkat 2,3%. Saat ini, sebagian besar kebutuhan energi khususnya pada bahan bakar dipenuhi oleh bahan bakar fosil yang kuantitasnya semakin menipis. Masalah emisi bahan bakar fosil juga memberikan tekanan kepada semua negara untuk segera memproduksi dan menggunakan energi terbarukan.

Biogas merupakan salah satu bioenergi yang memainkan peran penting dalam pasar energi terbarukan. Sesuai Perpres Nomor 22 Tahun 2017, target pada tahun 2025 adalah 23%, dimana 489,8 juta di antaranya berasal dari biogas (Yanti, 2018). Biogas adalah campuran antara gas yang dihasilkan oleh mikroorganisme penguraian bahan organik di bawah kondisi yang relatif kurang oksigen

(anaerob), yang dapat menghasilkan energi kaya metana. Biogas dapat diperoleh dari limbah rumah tangga, kotoran hewan (seperti peternakan ayam, sapi, dan kambing), sampah organik industri makanan dan sebagainya tanpa terkecuali limbah industri tempe (Bjornsson, 2007).

Indonesia dianggap sebagai salah satu negara yang kaya dengan teknologi fermentasi tradisional, dan tempe adalah salah satu produk yang paling menonjol. Industri pembuat tempe dapat dijumpai hampir di setiap kota di Indonesia, salah satunya di Pontianak. Sebagian besar industri tempe masih dalam skala rumah tangga yang diolah secara tradisional. Industri pembuatan tempe menghasilkan produk samping berupa limbah cair tempe dan ampas tempe. Limbah tempe masih kaya nutrisi, seperti protein sebesar 40-60% dan karbohidrat sebesar 25-50%, yang dapat digunakan dan diolah sebagai biogas (Hikmah, 2014). Namun, tidak banyak

digunakan sebagai bahan baku biogas, terutama di Pontianak. Selama ini, limbah dibuang ke lingkungan sehingga menimbulkan pencemaran. Pembuangan limbah tempe ke lingkungan akan menyebabkan perubahan lingkungan secara fisik, kimia, biologis sehingga mengganggu keseimbangan dan mencemari lingkungan sekitar.

Diperlukan upaya untuk mengurangi dampak limbah tempe terhadap pencemaran lingkungan. Hal ini dapat dilakukan melalui proses anaerobik limbah tempe untuk menghasilkan biogas. Proses penguraian anaerobik merupakan proses produksi biogas melalui tahap perombakan bahan organik dengan bantuan bakteri anaerob. Proses penguraian anaerobik terjadi dalam empat tahapan proses, yaitu proses hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis (Harahap, 2007).

Menurut Ivontianti, dkk. (2016), keberhasilan penguraian anaerobik dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti suhu, derajat keasaman (pH) dan waktu *start up*. Waktu *start up* merupakan tahap awal proses pertumbuhan bakteri anaerob sampai menghasilkan kondisi yang normal atau *steady-state*. Upaya untuk mempersingkat waktu *start up* merupakan faktor penting dalam peningkatan efisiensi sistem penguraian anaerobik, hal ini dikarenakan bakteri anaerobik mempunyai waktu pertumbuhan lambat, terutama bakteri metanogen. Mempersingkat waktu *start up* dapat dilakukan dengan menggunakan air limbah berkonsentrasi rendah dan penambahan substrat sekunder. Beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses *start up* diantaranya komposisi dan konsentrasi air limbah, waktu tinggal, dan kondisi reaktor. Selain itu, keberhasilan proses *start up* sering kali

bergantung pada efektifnya pencampuran substrat dalam proses tersebut.

Pada penelitian ini, proses produksi biogas menggunakan RATB (Reaktor Alir Tangki Berpengaduk), biasanya berbentuk silinder, terbuat dari logam atau beton, dan memiliki rasio aspek yang kecil. Reaktor dapat dioperasikan pada suhu sedang atau tinggi dan dapat menggunakan sistem pengadukan mekanik, gas atau hidrolik (Yanti, 2018). Selain beroperasi dalam keadaan *steady state*, RATB memiliki sistem kontrol otomatis sehingga tidak memerlukan banyak tenaga operator. Berdasarkan uraian di atas, akan dilakukan kajian variasi komposisi substrat terhadap waktu *start up* dengan tujuan meningkatkan pertumbuhan bakteri pada reaktor. Sehingga tercapai kondisi bakteri pada fase stasioner hingga dapat meningkatkan proses penguraian anaerobik secara kontinu. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substrat yang berasal dari limbah tempe terhadap waktu *start up* yang dibutuhkan pada reaktor aliran tangka berpengaduk (RATB).

METODOLOGI

Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan RATB yang dibuat menggunakan drum yang berkapasitas 200 L dilengkapi dengan motor listrik dan pengaduk, gasometer, pH meter, gas kromatografi, neraca analitik, dan venoject.

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah tempe dari industri tempe rumah tangga, kotoran sapi (*starter*) dan air.

Sumber: (Penulis, 2021)

Gambar 1: Rangkaian Alat

Prosedur kerja

Proses yang terjadi pada RATB berlangsung secara kontinu, yaitu jumlah substrat yang masuk ke dalam reaktor sama dengan jumlah produk yang keluar. RATB terbuat dari drum plastik berbahan *high density polyethylene* (HDPE) dengan volume total 200 L. Komponen yang terdapat dalam RATB terdiri dari saluran masuk (inlet), saluran keluar (outlet), motor listrik dan pengaduk, serta saluran keluar biogas yang dihubungkan ke gasometer.

Komponen saluran masuk (inlet) digunakan sebagai saluran masuk *starter* dan substrat awal serta digunakan pula sebagai saluran *feeding* pada pemasukan substrat berikutnya di dalam reaktor. Banyaknya substrat dan *starter* yang masuk ke dalam reaktor sebagai volume pengisian adalah 150L. Kemudian substrat dan *starter* yang telah masuk ke dalam reaktor diaduk selama 5 menit dengan pengadukan satu kali sehari.

Mula-mula RATB diisi dengan *starter* sebanyak 50 L, perbandingan kotoran sapi dengan air adalah 1:1 yaitu 25 L kotoran sapi dan 25 L air. Selanjutnya RATB diisi dengan umpan substrat yang berasal dari limbah tempe sebanyak 100 L yang terdiri dari limbah cair tempe serta ampas tempe yang telah dihaluskan dengan *blender* dengan perbandingan 3:1 yaitu 75 L limbah cair tempe serta 25 L ampas tempe, dimana di

dalam reaktor diisi *starter* dan substrat dengan perbandingan 2:1 (Marayani, 2016).

Fase *start up* dilakukan dalam sistem kontinu yang terbagi atas dua siklus dengan kekentalan substrat yang berbeda. Proses *start up* untuk siklus pertama menggunakan limbah cair tempe sebanyak 100 L yang terdiri dari limbah cair tempe serta ampas tempe yang telah dihaluskan dengan *blender* dengan perbandingan 3:1, kemudian dilakukan analisis pengukuran nilai VS, pH, volume gas dan pengambilan sampel CH_4 hingga hasil analisis menunjukkan keadaan stasioner, setelah keadaan stasioner menuju kematian dilakukan pemasukan substrat siklus kedua. Adapun untuk siklus kedua, dilakukan *feeding* menggunakan substrat yang lebih kental sebanyak 100 L dengan perbandingan antara limbah cair tempe dan ampas sebesar 2:1, yaitu terdiri dari 66 L limbah cair tempe serta 34 L ampas tempe. Penambahan substrat yang lebih kental bertujuan untuk menentukan ketahanan hidup bakteri, dimana proses penguraian dilakukan secara kontinu. Siklus kedua berakhir hingga bakteri berada pada fase stasioner. Pengambilan sampel dilakukan setiap hari untuk dilakukan analisis VS, analisis pH, volume biogas dan pengambilan sampel gas metana dilakukan setiap hari.

Analisis Data

Volatile Solid(VS)

Analisis VS dilakukan setiap hari sekali dengan metode gravimetri sesuai dengan standar BSN tahun 2005. Pengukuran VS dilakukan dengan mengambil sampel dari saluran outlet BSN tahun 2005. Pengukuran VS dilakukan dengan mengambil sampel dari saluran outlet sebanyak 10 mL, kemudian cawan kosong dipanaskan ke suhu 550°C selama 1 jam, dimasukkan ke desikator, dan ditimbang. Cawan kosong lalu diisi sampel sebanyak 10 mL, ditimbang terlebih dahulu sebelum dipanaskan dalam oven dengan suhu 103°C selama 1 jam. Cawan yang berisi padatan total yang sudah di oven dan ditimbang lalu dipanaskan pada tanur dengan suhu 550°C selama 15 menit, lalu ditimbang kembali.

Derajat Keasaman (pH)

Pengukuran derajat keasaman (pH) dilakukan berdasarkan dengan SNI 06-6989.11-2004 pengukuran pH meter dilakukan setiap hari dimulai hari pertama pemasukan substrat ke reaktor hingga berakhirnya siklus pertama dan kedua.

Volume Biogas

Volume biogas diukur dengan gasometer yang terbuat dari silinder/kolom bening tertutup dan sebagian dari kolom tersebut terendam dalam air garam dalam wadah terbuka. Air garam 75% jenuh berfungsi sebagai larutan penghalang. Katup bawah kolom terhubung langsung ke reaktor, sehingga gas mengalir melalui katup bawah dan masuk ke dalam kolom gasometer lalu melewati larutan penghalang dalam wadah (Walker, dkk. 2009).

Analisis Gas metana (CH₄)

Analisis gas kromatografi gas digunakan untuk menganalisis gas metana dalam biogas di laboratorium Balai Penelitian Lingkungan

Pertanian Patti. Sebuah suntik 10 mL digunakan untuk pengambilan gas, setelah itu disimpan pada *venoject*.

Hasil dan Pembahasan

Fase Start-Up

Biogas merupakan energi alternatif yang dihasilkan dari degradasi anaerobik bahan organik dengan bantuan bakteri. Pembuatan biogas menggunakan starter kotoran sapi dan substrat limbah tempe, dimana limbah tempe diperoleh dari salah satu pabrik tempe di Pontianak. Limbah tempe yang digunakan berupa limbah tempe hasil perebusan dan perendaman kedelai. Berdasarkan pengamatan secara fisik, substrat limbah mempunyai karakteristik yaitu berwarna kuning bening, masih terdapat padatan tersuspensi atau terendap dan berbau rebusan kedelai. Buangan air limbah ini masih banyak mengandung zat organik, seperti karbohidrat, lemak, dan zat terlarut yang mengandung padatan tersuspensi atau padatan terendap. Adanya bahan organik yang cukup akan menyebabkan mikroorganisme menjadi aktif dan secara biologis menguraikan bahan organik, sehingga menghasilkan gas CH₄, NH₃, dan H₂S (Djarwanti dkk, 2000). Keasaman limbah tempe sebelum ditambahkan kotoran sapi bersifat asam.

Starter dari limbah tempe yang digunakan berasal dari kotoran sapi yang mengandung bakteri metanogen yang dapat menghasilkan gas metan yang terdapat pada hewan ruminansia dan memiliki pH netral. Menurut Sukmana dkk. (2011), kotoran sapi terdiri dari 22,59% selulosa, 18,32% hemiselulosa, 10,20% lignin, 34,72% total karbon organik, dan 1,26% total nitrogen. Selain itu, kotoran sapi juga mengandung fosfor 0,37% dan kalium 0,68%. Kotoran sapi memiliki kandungan selulosa yang tinggi dan dapat menghasilkan biogas dalam jumlah besar, sehingga kotoran sapi berpotensi sebagai starter biogas. Hal ini karena jumlah biogas yang dihasilkan per kilogram kotoran sapi relatif lebih tinggi dibandingkan kotoran ternak lainnya. Menurut Wahyuni (2009),

sebanyak 1 kg kotoran sapi dapat menghasilkan 0,023-0,040 m³ biogas. Dengan jumlah produksi tersebut, kotoran sapi sangat potensial untuk menghasilkan biogas dalam jumlah besar.

Substrat limbah tempe yang digunakan berupa limbah cair tempe dan ampas tempe yang dihomogenkan dengan cara *diblender* mempunyai derajat keasaman (pH) 4 sehingga masih bersifat asam. Menurut Hikma dkk. (2014), limbah tempe memiliki nutrisi seperti protein sebesar 40-60% dan karbohidrat sebesar 25-50. Protein dan karbohidrat akan terurai menjadi senyawa sederhana dalam tahap hidrolisis selama proses pembentukan biogas. Protein dan karbohidrat dihidrolisis menjadi asam amino dan glukosa selama tahap hidrolisis. Waktu *start up* adalah waktu yang dibutuhkan bakteri untuk mencerna bahan organik untuk membentuk biogas di dalam digester.

Waktu *start up* setiap digester berbeda, hal ini dikarenakan bakteri perlu beradaptasi pada lingkungan digester. Penelitian ini menggunakan RATB (Reaktor Alir Tangki Berpengaduk) yang dilengkapi dengan saluran masuk (inlet), saluran keluar (outlet), motor listrik serta pengaduk, dan saluran keluar biogas yang dihubungkan ke gasometer. Waktu *start up* dihitung dari pengisian awal digester, sebanyak 150 L antara substrat serta *starter*. Pemilihan volume isian 150 L dari volume total reaktor 200 L di karenakan kemampuan proses pengadukan, karena jika pengisian reaktor lebih dari 150 L, motor pengaduk akan sangat panas sehingga berdampak pada proses pengadukan menjadi tidak maksimal. Volume 50 L dicadangkan untuk ruang penyimpanan gas.

Waktu *start up* dilakukan dalam sistem kontinyu yang dibagi atas dua siklus dengan kekentalan substrat yang berbeda. Proses *start up* untuk siklus awal menggunakan substrat serta *starter* dengan perbandingan 3:1. Substrat yang digunakan sebanyak 100 L yang terdiri dari limbah cair tempe serta ampas tempe yang telah dihaluskan dengan

blender dengan perbandingan 3:1, yaitu 75L limbah cair tempe serta 25L ampas tempe. Setelah itu digunakan starter kotoran sapi sebanyak 50 L yang diencerkan dengan air dengan perbandingan 1:1 yaitu 25 L air dan 25 L kotoran sapi. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel untuk di analisis, VS, pH, volume gas dan CH₄ hingga bakteri berada pada fase stasioner.

Waktu *start up* untuk siklus kedua dilakukan *feeding* menggunakan substrat yang lebih kental sebanyak 100 L dengan perbandingan limbah cair tempe serta ampas tempe yang telah dihaluskan dengan *blender* sebesar 2:1, yaitu 66 L limbah cair tempe serta 34 L ampas tempe. Pemilihan penggunaan substrat dengan volume yang lebih kental pada siklus kedua bertujuan untuk menentukan ketahanan hidup bakteri sebelum sistem dilanjutkan ke proses kontinyu. Dengan pemakaian substrat yang lebih kental pada siklus kedua, diharapkan bisa mempertahankan hidup bakteri pada siklus awal. Pada siklus kedua dilakukan penguraian proses anaerobik sampai bakteri berada pada fase stasioner.

Siklus awal proses pembuatan biogas berlangsung dalam rentang waktu 14 hari. Tahap ini berakhir pada hari ke-14 yang ditandai dengan penurunan volume biogas. Selanjutnya untuk siklus kedua berlangsung dalam rentang waktu 19 hari serta dihentikan pada hari ke-33. Kedua siklus ini dilakukan pengambilan sampel untuk dianalisis sebagian parameter seperti pH, VS serta CH₄. Dengan membandingkan antara hasil analisis parameter siklus awal serta siklus kedua dapat dilakukan evaluasi pengaruh substrat yang berasal dari limbah tempe terhadap waktu *start up* yang diperlukan pada RATB.

Pengamatan Volatile Solid (VS)

Volatile Solids (VS) ialah jumlah material organik di dalam substrat yang dikonversi menjadi biogas Mellyanawaty dkk., (2017).

Sumber: (Penulis, 2021)

Gambar 2: Grafik Analisis VS

Pengaruh kandungan konsentrasi VS ditunjukkan pada **Gambar 2**. Dimana pada hari ke-2 terjadi penurunan nilai VS 226.000 mg/L, penurunan nilai VS pada hari ke-2 menunjukkan adanya aktifitas bakteri dalam menguraikan bahan organik. Bahan organik ini dikonsumsi oleh bakteri anaerob sebagai upaya memenuhi nutrisi dan kebutuhan bakteri untuk pertumbuhan dan bertahan hidup. Hal ini didukung oleh penelitian Safitri dkk. (2016) menunjukkan bahwa bakteri membutuhkan

nutrisi selama masa pertumbuhannya, seperti bahan organik yang cukup dan kondisi lingkungan untuk mendukung proses pertumbuhan dan perkembangbiakannya.

Adapun untuk hari ke-3 sampai hari ke-6, konsentrasi VS yang mengalami kenaikan menunjukkan adanya pertumbuhan bakteri yang telah berlangsung untuk membentuk biogas. Dapat dilihat dari **Gambar 3** kurva pertumbuhan sel bakteri limbah tahu pada produksi biogas.

Sumber: (Wistreich, G. A 1997)

Gambar 3: Kurva pertumbuhan sel bakteri

Dari hari ke-1 hingga hari ke-3 bakteri berada pada fase adaptasi. Menurut Mardalena (2014), pada fase adaptasi dimana bakteri

sedang melakukan proses adaptasi terhadap kondisi lingkungan seperti pH, suhu, dan nutrisi.

Namun, pada hari ke-6 dan ke-9 konsentrasi VS mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena bahan-bahan organik mengalami proses degradasi, dimana reaksi hidrolisis mengubah bahan-bahan organik

tersebut menjadi senyawa yang larut dalam air. Selama reaksi hidrolisis masih berlangsung, zat terlarut tersebut digunakan dalam reaksi selanjutnya yaitu reaksi asidogenesis, sehingga menyebabkan volatil solid turun kembali (Luthfianto, dkk, 2011). Penurunan merupakan indikasi dari adanya kenaikan produk biogas atau kandungan gas metana yang dihasilkan, sebagaimana dapat dilihat di hari ke-9 terjadi kenaikan VS dan kandungan gas metana. Penurunan VS menunjukkan bahwa di dalam digester terjadi proses degradasi senyawa organik (Sjafrudin, 2011).

Nilai VS di hari ke-9 menunjukkan bahwa bakteri berada pada fase eksponensial, yaitu fase dimana pertumbuhan bakteri berlangsung sangat cepat, dimana pada hari ke-9 CH_4 mengalami kenaikan yang sangat signifikan. Fase berikutnya adalah fase stasioner, pada fase ini tidak terjadi penambahan ataupun pengurangan bakteri, karena jumlah bakteri yang hidup sama dengan jumlah bakteri yang mati. Fase stasioner terjadi pada hari ke-9 sampai hari ke-12.

Meningkatnya konsumsi bahan organik ataupun nutrisi oleh bakteri berpengaruh pada nilai VS hari ke-14 yang ditandai dengan penurunan nilai VS yang sangat ekstrem. Penurunan nilai VS ini menunjukkan makanan bakteri sudah habis, dan bakteri memasuki fase stasioner menuju kematian sehingga terjadi penurunan populasi ataupun kematian. Oleh karena penurunan nilai VS yang sangat ekstrem pada siklus ini, maka siklus awal fase *start up* berakhir pada hari ke-14.

Konsentrasi nilai VS pada siklus kedua mengalami kenaikan pada hari ke-15 setelah dilakukan *feeding* tahap kedua. Hal ini dikarenakan penambahan substrat baru yang masih kaya akan kandungan nutrisi. Pada hari ke-15 sampai hari ke-18, bakteri berada pada fase adaptasi. Penurunan VS pada hari ke-18

sampai hari ke-20 menunjukkan adanya aktifitas bakteri dalam pengolahan nutrisi menjadi biogas. Menurut Tricia, dkk. (2017) Penurunan nilai VS yang signifikan menunjukkan kinerja yang baik dalam dekomposisi anaerobik bahan organik. Nilai VS pada hari ke-21 telah memasuki fase eksponensial, dimana pertumbuhan bakteri sangat cepat. Selain itu, hari ke-24 merupakan fase stasioner, yaitu fase dimana jumlah nutrisi seimbang dikarenakan tidak adanya perkembangbiakan ataupun kematian bakteri. Dari hari ke-27 hingga hari ke-33, penurunan VS disebabkan oleh berkurangnya nutrisi dan cadangan makanan bakteri yang sudah menipis, dari hari ke-27 hingga hari ke-33, berada dalam siklus stasioner menuju ke kematian hal ini di tandai dengan penurunan nilai VS, sehingga di hari ke-33 merupakan indikasi berakhirnya siklus kedua.

Pada penelitian ini nilai VS kedua siklus mengalami pengurangan, dimana nilai VS dari siklus pertama dengan siklus kedua sedikit penurunan. Menurut Noresta dkk. (2013), jika sistem penguraian di siklus pertama sudah maksimal, penambahan substrat yang lebih kental akan menyebabkan nilai VS pada siklus kedua menurun jauh lebih besar dibanding siklus pertama. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, jika dilihat dari nilai VS siklus pertama dan siklus kedua, untuk dilanjutkan ke sistem kontinyu, siklus pertama sebaiknya berlangsung dalam waktu 13-14 hari. Karena jika melebihi hari tersebut, bakteri akan kekurangan asupan bahan organik, sehingga apabila diteruskan untuk ke siklus selanjutnya bakteri terlanjur banyak yang mati, sehingga sistem penguraian anaerobik menjadi tidak maksimal. Untuk siklus kedua sebaiknya di lanjutkan ke sistem berikutnya pada hari 13-14 jika melewati hari tersebut dikhawatirkan bakteri berada pada fase kematian.

Sumber: (Widarti, 2012)

Gambar 4: Volatil solid limbah tahu

Sebagai pembanding analisis volatil solid dari limbah cair tahu pada **Gambar 4** kondisi K1 dengan komposisi ampas tahu dan limbah cair tahu dengan nilai pH 5 pada grafik dapat dilihat kandungan volatil solid cenderung semakin turun terhadap waktu (Widarti, 2012). Hasil pada penelitian ini limbah tahu sebanding dengan hasil penelitian ini yang mana kandungan volatil solid terus mengalami penurunan, penurunan terjadi karena kondisi substrat tidak sesuai dengan kondisi nutrisi yang dibutuhkan bakteri. Pengadukan yang tidak maksimal menyebabkan protein, lemak dan karbohidrat tidak terdegradasi dengan maksimal hal ini menyebabkan volatil solid mengalami penurunan. Pengisian ulang pada hari ke-21 dengan substrat yang lebih kental mempengaruhi volatil solid sehingga grafik mengalami kenaikan pada siklus kedua.

Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu bahan. Menurut Tricia dkk. (2017), pH merupakan faktor yang sangat penting bagi proses anerobik dalam pembentukan biogas. Proses melibatkan bakteri hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis untuk fermentasi pembentukan biogas, bakteri dapat aktif pada pH lebih besar atau sama dengan 4 dan 5, namun mempunyai pH optimal sebesar 6 sampai 8 (Wijayanti, 1993). Penelitian ini pH limbah tempe memiliki pH yang rendah. Pengambilan nilai pH dilakukan setiap hari menggunakan pH meter, dimana pengambilan sampel atau effluent menggunakan gelas kimia kemudian pH meter dicelupkan ke dalam gelas kimia tersebut dan dilihat nilai pH yang tertera. Nilai pH diberikan oleh **Gambar 5** Grafik Analisis pH.

Sumber: (Penulis, 2021)

Gambar 5: Grafik Analisis pH

Berdasarkan **Gambar 5**, nilai pH akan berubah selama proses fermentasi. Nilai pH siklus pertama dan siklus kedua dicatat masing-masing pada 4, 4, 5, 4, 7 dan 4,8 dimana nilai pH ini terlalu rendah sehingga tidak sesuai untuk kondisi maksimal pertumbuhan bakteri metanogen. Kisaran pH optimal untuk bakteri metanogenik adalah sekitar 6,5-7,5 (Wahyuni, 2011). Karena hubungan yang tidak seimbang antara substrat dan *starter*, siklus pertama dan siklus kedua menghasilkan pH yang rendah. Pada siklus pertama diperoleh nilai pH rendah dengan nilai 4,8 sedangkan pada siklus kedua nilai pH 4,7 lebih rendah dari pH siklus pertama.

Substrat memiliki pH 4, dimana substrat terdiri dari limbah yang masih bersifat asam dan kotoran sapi yang memiliki pH netral. Peningkatan pH akan mempercepat proses pembusukan, sehingga meningkatkan efektifitas kerja mikroba dan meningkatkan produksi biogas. Menurut Mahajoeno dkk. (2008), nilai pH awal substrat 7 akan meningkatkan laju produksi biogas lebih baik dibandingkan dengan perlakuan pH lainnya. Adapun pada penelitian ini nilai pH substrat awal sebesar 4 menunjukkan pH yang kurang baik dalam pembentukan biogas dikarenakan nilai pH terlalu rendah, sebaiknya diberikan penambahan larutan basa sehingga pH substrat menjadi netral.

Proses produksi biogas dimulai dari tahap hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis, dimana mikroorganisme tumbuh dan berkembangbiak di dalam digester. Dengan berkembang biaknya mikroorganisme atau bakteri pada media, proses penguraian senyawa organik dalam limbah menjadi lebih efektif. Berdasarkan nilai pH yang diperoleh, terlihat adanya perubahan pH dari hari ke-1 sampai hari ke-14, pada siklus pertama untuk hari ke-2 terjadi peningkatan pH dimana pH awal 4 menjadi 4,6. Peningkatan pH ini disebabkan adanya aktivitas mikroorganisme yang terdapat pada limbah tempe dan kotoran sapi. Ketika proses pencernaan berada pada tahap hidrolisis, dimana enzyme protease, selulase, dan lipase digunakan untuk mengkatalisis pemutusan ikatan polimerik pada lipid, karbohidrat, dan protein, yang menyebabkan terjadinya dekomposisi protein oleh bakteri sehingga terbentuk amonia (NH_3), hal ini menyebabkan nilai pH meningkat. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan Syaichurrozi, dkk, (2015) yang menyatakan peningkatan pH disebabkan oleh amonia, yang dihasilkan selama proses dekomposisi protein. Mekanisme kerja mikroorganisme pada proses dekomposisi bahan organik yang terkandung dalam limbah tempe dapat dilihat pada reaksi berikut: Munawaroh, dkk, (2013).

Pada siklus kedua mengalami penurunan nilai pH 4,8 menjadi 4,5. Penurunan nilai pH ini disebabkan penambahan substrat baru dimana pH awal substrat adalah 4 sehingga pH mengalami penurunan. Setelah mengalami adaptasi, nilai pH berubah menjadi 4,7 dan nilai pH tidak meningkat lagi dari hari ke-16 hingga hari ke-33. Nilai pH yang konstan pada siklus kedua disebabkan oleh bakteri asidogen serta metanogen memiliki jumlah yang sama dalam sistem penguraian anaerobik. Bakteri asidogen dari hasil aktivitasnya menghasilkan asam yang selanjutnya dikonversi oleh bakteri metanogen sebagai metana, sehingga pH

asam yang sudah terbentuk akibat proses asidogenesis kembali meningkat akibat konversi asam sebagai metana oleh bakteri metanogen. Menurut Forster dkk. (2008), karena hasil hidrolisis diubah menjadi asam lemak yang mudah menguap, maka proses asidogenesis ditunjukkan dengan tingginya kandungan asam. Setelah itu asam lemak tersebut diubah oleh bakteri metanogen menjadi gas metana, sehingga alkalinitasnya bertambah serta berdampak terhadap peningkatan pH sampai tercapainya keadaan pH yang konstan. Nilai pH selama proses penguraian bahan organik menjadi faktor penting yang harus diperhatikan karena akan

mempengaruhi kualitas biogas yang dihasilkan.

Hindari pH di atas 8,5 karena akan membuat produk akhir mengandung CO₂ dan amonia

sebagai produk utama. PH di atas 8,5 bersifat racun bagi bakteri metanogenik (Mara dan Alit, 2011). Berdasarkan hasil analisis pH kedua siklus, pH di siklus pertama mengalami fluktuasi akibat sistem penguraian yang belum stabil. Kondisi sistem yang belum stabil ini dipengaruhi oleh bakteri yang masih menyesuaikan diri dengan lingkungan penguraian serta populasi bakteri yang belum seimbang, dimana pada siklus pertama pertumbuhan dan aktifitas bakteri masih didominasi oleh bakteri asidogen yang ditandai dengan adanya penurunan pH.

Kemudian pada siklus kedua, pH bernilai konstan dari awal hingga siklus kedua berakhir. Kondisi ini diakibatkan oleh nutrisi untuk bakteri yang tidak seimbang, hal ini dikarenakan substrat yang di masukan asam. Substrat yang asam juga mempengaruhi banyaknya kandungan CH₄ yang terbentuk. Meskipun nilai pH stabil di angka 4,7 hingga siklus kedua berakhir, akan tetapi lebih baik jika proses *start up* dilakukan tidak lebih dari 13-14 hari untuk menghindari kondisi yang tidak optimal yang dapat mempengaruhi nilai pH jika dilanjutkan ke sistem kontinyu. Siklus pertama dan siklus kedua berada pada pH asam, sehingga sebaiknya dilakukan penanganan pH terlebih dahulu agar pH menjadi netral dan kuantitas produksi biogas yang dihasilkan lebih optimal.

Sumber: (Ni'ma, 2014)

Gambar 6: Grafik Analisis pH limbah tahu

Sebagai pembanding pada nilai pH yang netral VS akan terus mengalami kenaikan menandakan nutrisi yang dibutuhkan bakteri sesuai dengan pencernaan bakteri. Konsentrasi metana

berbanding lurus dengan pH biogas, ketika pH netral maka konsentrasi metana pada biogas yang di hasilkan juga stabil. Hal ini dikarenakan pH berpengaruh terhadap pembentukan konsentrasi metana.

Volume Biogas

Volume biogas diukur berdasarkan berapa banyak volume cairan yang turun pada gasometer yang kemudian terhitung sebagai volume biogas/hari dalam satuan mili liter. Diperoleh hasil

volume biogas sebagaimana ditunjukkan oleh **Gambar 7**.

Sumber: (Penulis, 2021)

Gambar 7: Volume Biogas

Data di atas menunjukkan bahwa volume biogas tertinggi pada siklus pertama terdapat pada hari ke-8, sedangkan volume biogas tertinggi pada siklus kedua terdapat pada hari ke-22. Adapun volume biogas terendah pada siklus pertama terdapat pada hari ke-14, sedangkan volume biogas terendah pada siklus kedua terdapat pada hari ke-33, dimana perlakuan siklus pertama menghasilkan biogas lebih banyak karena memiliki jumlah isian limbah cair tempe yang relatif lebih encer sehingga bakteri lebih mudah dalam mencerna nutrisi.

Selain nutrisi yang sesuai dan mudah untuk dicerna bakteri, di dalam digester juga terdapat kotoran sapi yang cukup untuk menguraikan limbah cair tempe menjadi biogas. Menurut Budiyanto (2010) dalam Bahrin dkk (2011), ketika populasi bakteri meningkat, aktifitas bakteri akan menghasilkan komposisi gas metana yang lebih besar, termasuk bakteri non-metanogen, sehingga meningkatkan produksi biogas. Kotoran hewan merupakan sumber mikroorganisme karena mengandung substrat yang digunakan oleh mikroorganisme untuk menghasilkan metana.

Volume biogas yang dihasilkan pada penelitian ini tercatat mengalami fluktuasi, dimana pada siklus pertama waktu *start up* memiliki total volume biogas sebesar 159.115 mL, dengan volume biogas paling

banyak ditunjukkan pada hari ke-8 sebesar 43.150 mL. Hari pertama sampai dengan hari ke-5 merupakan fase adaptasi terhadap lingkungan, menurut Afrian, (2017) kalau bahan isian fresh melangsungkan proses adaptasi akan menghasilkan gas yang lebih didominasi oleh CO₂.

Pada hari ke 6, 7 dan 8, biogas berada dalam fase eksponensial. Pada fase ini, bakteri berkembang biak dengan cepat dan sel membelah, dan jumlahnya meningkat seiring waktu. Saat hari ke-9 reaktor mengalami kebocoran dikarenakan tekanan gas yang dihasilkan terlalu tinggi, dimana kebocoran diketahui dengan adanya keluarnya gelembung gas dari permukaan reaktor yang diisi air, dimana sudah dilakukan penanganan tetapi masih terjadi kebocoran. Adapun di hari ke-10 kebocoran reaktor masih terjadi, namun sudah ditangani dengan menutup permukaan reaktor dengan kain basah. Selanjutnya pada hari ke-11 penanganan reaktor dilakukan dengan menambahkan air garam pada permukaan reaktor dan kain yang sebelumnya sudah dibasahkan dengan air garam penanganan ini dilakukan dimulai dari hari ke- 11 sampai penelitian selesai.

Fase stasioner terjadi dari hari ke-7 sampai hari ke-8. Fase ini terjadi ketika laju pertumbuhan bakteri sama dengan laju kematian, sehingga jumlah total bakteri akan tetap seimbang. Keseimbangan jumlah

bakteri terjadi karena penurunan derajat pembelahan sel. Hal ini disebabkan pengurangan nutrisi dan terjadinya akumulasi produk beracun yang mengganggu pembelahan sel.

Produksi biogas mengalami penurunan pada hari ke-14, dengan volume yang dihasilkan yaitu 2.000 mL. Penurunan produksi biogas pada hari ke-14 terjadi karena ketersediaan bahan organik yang semakin sedikit, hal ini dapat dilihat pada hasil analisis VS hari ke-14 sebesar 387.000 mg/L. Oleh karena jumlah bakteri yang tidak seimbang dengan ketersediaan nutrisi, maka bakteri mengalami kekurangan makanan sehingga menyebabkan produksi biogas pada hari ke-14 mengalami penurunan. Menurut Widarti, dkk, (2012), jumlah biogas yang dihasilkan berbanding lurus dengan kandungan VS pada bahan baku biogas, semakin tinggi nilai VS maka semakin banyak biogas yang dihasilkan, dan sebaliknya semakin rendah nilai VS maka semakin sedikit biogas yang dihasilkan.

Produksi biogas pada siklus kedua tidak mengalami kenaikan volume yang lebih tinggi dibandingkan dengan siklus pertama. Total volume biogas pada siklus kedua sebanyak 172.645 mL, dengan volume biogas tertinggi terjadi pada hari ke-22 sebesar 19.225 mL dan volume terendah pada hari ke-33 yaitu 2.025 mL. Peningkatan volume biogas yang terjadi pada awal siklus kedua di hari ke-15 dipengaruhi oleh penambahan substrat segar pada hari ke-15. Penambahan substrat segar ke dalam sistem penguraian pada siklus kedua memberikan tambahan bahan organik sebagai asupan makanan bagi bakteri, sehingga aktifitas bakteri semakin meningkat dan mempengaruhi volume biogas. Hal sebaliknya berlaku untuk hari ke-33, dimana volume biogas semakin menurun. Penurunan produksi biogas pada hari ke-33 disebabkan oleh ketersediaan bahan organik yang mulai berkurang sehingga biogas yang dihasilkan juga berkurang.

Perbedaan total volume biogas pada sistem penguraian kedua siklus terjadi karena adanya perbedaan kekentalan substrat yang digunakan. Substrat dengan komposisi

limbah cair tempe yang lebih banyak menghasilkan volume biogas yang lebih banyak, serta sebaliknya, substrat dengan limbah cair tempe yang sedikit menghasilkan biogas dengan volume yang sedikit pula. Menurut Ni'mah (2014), salah satu parameter yang mempengaruhi keberhasilan proses pembuatan biogas adalah tingkat pengenceran, isi bahan organik di dalam biodigester, dan seberapa besar beban pencernaan yang mesti dilakukan mikroorganisme pada proses hidrolisis. Hal yang sama dinyatakan oleh Mara dan Alit (2011), dimana kadar air dalam substrat dan homogenitas sistem mempengaruhi proses kerja bakteri, karena kadar air yang tinggi akan mempermudah proses penguraian, sedangkan homogenitas sistem membuat kontak antar mikroorganisme dengan substrat menjadi lebih dekat, untuk mencapai hasil akhir produksi biogas yang terbaik.

Volume biogas dari kedua siklus memiliki beberapa perbedaan, dimana pada siklus pertama total volume biogas sebesar 159.115 mL dengan waktu penguraian selama 14 hari. Sedangkan untuk siklus kedua, waktu penguraian berlangsung selama 19 hari dengan total volume biogas yang dihasilkan sebanyak 172.645 mL. Konsentrasi serta waktu mempengaruhi volume gas, dimana pada siklus pertama proses fermentasi berlangsung lebih cepat dikarenakan substrat lebih mudah dicerna, sedangkan pada siklus kedua waktu fermentasi lebih lama karena komposisi substrat lebih kental. Substrat yang dimasukan memiliki pH asam, yang menyebabkan sistem hidup bakteri terganggu dapat dilihat dari nilai pH pada siklus ke dua konstan, dimana nilai pH mempengaruhi pembentukan volume gas.

Grafik volume biogas ini digunakan sebagai acuan dalam menentukan lamanya sistem penguraian berlangsung pada siklus pertama dan kedua sehingga diperoleh waktu *start up* yang tepat. Siklus pertama sebaiknya dihentikan ketika bakteri berada fase stasioner menuju kematian atau ketika produksi biogas terjadi penurunan selama 2 hari berturut-turut. Namun pada penelitian

ini, terjadi kebocoran reaktor sehingga sulit untuk menentukan waktu *start up* untuk siklus kedua. Pemilihan waktu *start up* pada

hari ke-14 ini disesuaikan dengan kondisi VS.

Sumber: (Widarti, 2012)

Gambar 8: Volume biogas limbah tahu

Sebagai pembanding analisis volume biogas dari limbah cair tahu pada **Gambar 8** dimana kondisi K1 dengan komposisi ampas tahu dan limbah cair tahu dengan nilai pH 5 pada grafik dapat dilihat volume biogas

Hasil dari penelitian ini volume biogas pada siklus pertama dan kedua grafik fluktuatif dan mengalami penurunan pada hari ke-9 dikarenakan reaktor mengalami kebocoran. Pengisian ulang dengan substrat yang lebih kental mempengaruhi volume biogas dikarenakan degradasi dari limbah

semakin hari semakin mengalami kenaikan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Amelia (2010) yang menunjukkan bahwa bahan dengan VS yang lebih tinggi menghasilkan biogas yang lebih banyak.

cair dan ampas tempe menyebabkan akumulasi asam sehingga nilai pH sekitaran 4-4,8 berpengaruh pada nutrisi yang diperlukan bakteri untuk proses produksi biogas. Sehingga pada hari ke-24 – ke-33 volume biogas terus menurun.

Analisis Metana (CH_4)

Metana (CH_4) adalah senyawa yang mudah terbakar. Dalam produksi biogas, metana merupakan bagian penting yang menunjukkan kualitas biogas yang dihasilkan. Semakin banyak metana yang

dihasilkan, maka semakin baik kualitas biogas (Anggraini, dkk., 2012). Konsentrasi metana pada siklus pertama dan kedua dapat dilihat pada **Gambar 9** di bawah ini:

Sumber: (Penulis, 2021)

Gambar 9: Grafik Konsentrasi CH₄

Data konsentrasi metana pada grafik di atas menunjukkan bahwa pada siklus pertama, konsentrasi metana tertinggi adalah sebesar 6.346,33 ppm yang berada pada hari ke-9 dan konsentrasi tertinggi pada siklus kedua adalah sebesar 6.410,23 ppm yang berada pada hari ke-25. Konsentrasi metana terendah pada siklus pertama adalah sebesar 5.095,15 ppm pada hari ke-14 serta konsentrasi terendah pada siklus kedua adalah sebesar 5.021,87 ppm pada hari ke-33. Konsentrasi CH₄ dari hari ke-1 sampai hari ke-8 mengalami fase adaptasi atau fase lag dimana bakteri beradaptasi terhadap lingkungan, hari ke-9 bakteri mengalami fase eksponensial, dan dilanjutkan ke fase stasioner dimulai dari hari ke-10 sampai hari ke-14.

Siklus kedua terjadi kenaikan CH₄ di hari ke-15 dan cenderung stabil serta mengalami penurunan dimulai dari hari ke-26, penurunan ini terjadi karena lingkungan di dalam reaktor yang terlalu asam sehingga metana yang terbentuk tidak sempurna. Herawati, dkk, (2016) menyatakan bahwa pH yang rendah menunjukkan bahwa metanogen belum berkembang dengan baik dan penurunan CH₄ dikarenakan kondisi pH substrat yang tidak sesuai.

Konsentrasi metana tiap siklus tidak lepas dari pengaruh nutrisi limbah organik serta pH limbah yang mempengaruhi proses penguraian anaerobik. Bahan organik dalam penelitian ini dinyatakan dalam nilai VS, dimana besarnya nilai VS berbanding lurus

dengan konsentrasi metana. Berdasarkan **Gambar 2**, jika ditarik garis lurus dari hari ke-1 sampai hari ke-33, nilai VS menurun, begitu juga dengan konsentrasi metana. Nilai bahan organik di dalam reaktor mengalami penguraian anaerobik, sehingga nilai VS terus menjadi turun dan konsentrasi metana terus mengalami kenaikan, sehingga menghasilkan konsentrasi tertinggi. Setelah konsentrasi tertinggi dicapai, konsentrasi metana mulai mengalami penurunan.

Derajat keasaman atau pH merupakan indikator yang mempengaruhi pembentukan metana. Menurut Supriatin, dkk, (2017), nilai pH berbanding lurus dengan konsentrasi metana, yaitu semakin tinggi nilai pH, maka semakin tinggi pula konsentrasi metana. Namun jika dilihat dari **Gambar 5**, nilai pH mengalami penurunan dari angka 4,8 menjadi 4,7 dan berbanding terbalik dengan grafik konsentrasi metana yang mengalami kenaikan. Penurunan nilai pH berpengaruh besar pada konsentrasi metana, dimana proses penguraian anaerobik berlangsung pada rentang pH 4-4,7. Bakteri metanogen akan bekerja pada kisaran pH mendekati 6-8 dan pH optimal untuk pembentukan gas metana adalah 7 (Supriatin dkk, 2017).

Dari penelitian ini dapat dilihat dari grafik volume biogas serta grafik konsentrasi metana, keduanya memiliki nilai yang berbanding lurus. Volume biogas serta konsentrasi metana mengalami peningkatan nilai bersamaan dengan berjalannya waktu sampai tercapai nilai paling tinggi. Setelah

nilai paling tinggi tercapai, keduanya mulai mengalami penurunan. Volume biogas yang besar tidak dapat dijadikan patokan jika konsentrasi metana yang dihasilkan juga besar. Hal ini dikarenakan bahan organik

yang diubah oleh bakteri tidak seluruhnya diubah menjadi gas metana, tetapi juga terbentuk gas-gas lain seperti CO_2 , H_2S , N_2 dan H_2 yang juga terakumulasi dalam bentuk biogas (Afrian, 2017).

Sumber: (Widarti, 2012)

Gambar 10: Konsetrasi Metana limbah tahu

Sebagai perbandingan analisis volatil solid dari limbah cair tahu pada **Gambar 10** kondisi K1 dengan komposisi ampas tahu dan limbah cair tahu dengan nilai pH 5 pada grafik dapat dilihat konsetrasi metana fluktuatif dan cenderung mengalami penurunan sedangkan pada S6 kondisi metana mencapai konsetrasi tertinggi karena

ditambahkan dengan inokulum. Hasil penelitian sebanding dengan kondisi K1 di mana pada hari ke-9 volume mengalami kenaikan dan setelah penambahan disiklus ke dua konsetrasi metana konstan, konstantnya nilai konsetrasi metana dikarenakan terambilnya sampel sisa dari siklus pertama.

Sumber: (Penulis, 2021)

Gambar 11: Hasil Nyala Api

Hasil Nyala Api Berdasarkan **Gambar 11** nyala api tidak berwarna biru dan api mudah padam, ini terjadi karena konsentrasi CH_4 yang di hasilkan masih mengandung

pengotor. Pengotor dalam biogas dapat membuat korosi.

Sumber: (Penulis, 2021)

Gambar 12: Analisis VS, pH, volume gas, CH₄

Berdasarkan **Gambar 12** analisis hubungan antara konsentrasi metana dengan nilai VS, pH dan volume biogas. VS pada grafik berpengaruh terhadap pH, VS yang tersusun dari limbah cair tempe dan ampas tempe terdegradasi sehingga menyebabkan akumulasi asam sehingga nilai pH berada pada 4-4,8, nilai pH asam mempengaruhi proses produksi biogas dan konsentrasi metana. Pada grafik VS, pH, volume biogas dan konsentrasi metana sebaiknya waktu start up dilakukan selama 13-14 hari, dapat dilihat pada Gambar 12 waktu start up siklus pertama di mulai dari hari ke-13-14 hari dan untuk siklus kedua waktu start up adalah dari hari ke-26-33 hari yang berkisaran 11-19 hari dari dimulai siklus kedua. Apabila waktu start up dilakukan kurang dari 13 hari, bakteri metanogen masih dalam tahap perkembangbiakan, sebagaimana dapat dilihat dari konsentrasi metana yang masih rendah untuk waktu kurang dari 13 hari. Serta apabila feeding dilakukan kurang dari 13 hari, bakteri metanogen akan mengalami wash out (keluarnya bakteri dari sistem penguraian). Namun, apabila waktu start up berlangsung sangat lama maka terjadi kondisi yang tidak maksimal untuk bakteri, dimana

bakteri kekurangan bahan organik sebagai sumber makanan sehingga bakteri memasuki fase kematian.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- Pengaruh komposisi substrat dengan perbandingan 3:1 dan 2:1 antar limbah cair tempe dan ampas tempe memperoleh waktu start up untuk siklus pertama antar 13-14 hari sedangkan untuk siklus kedua berada pada 26-33 hari, dengan komposisi yang sesuai dengan jumlah nutrisi kebutuhan hidup bakteri 3:1 maka waktu start up yang di hasilkan akan semakin cepat.
- Perbandingan 3:1 pada siklus pertama menghasilkan nilai VS tertinggi pada hari ke-1 yaitu sebesar 831.000 mg/L dan nilai VS terendah hari ke-14 387.000 mg/L, sedangkan untuk analisis. Analisis pH pada siklus pertama tertinggi 4,8 dan pH terendah 4. Volume gas tertinggi pada siklus pertama 18.100 mL hari ke-9 dan volume terendah 2000 mL pada hari

ke-14. Analisis metana CH₄ tertinggi pada siklus pertama 6.738,15 ppm berada pada hari ke-10 dan analisis metana terendah pada siklus pertama 5.795,18 ppm berada pada hari ke-14. Siklus kedua nilai analisis VS tertinggi 769.000 mg/L berada pada hari ke-21 dan analisis VS terendah 347.000 mg/L. Analisis pH tertinggi pada siklus kedua adalah 4,7 dan pH terendah 4,5. Volume gas tertinggi pada siklus pertama adalah 19.225 mL berada pada hari ke-22 dan volume gas terendah 2025 berada pada hari ke-33. Analisis metana tertinggi pada siklus kedua berada pada hari ke-25 sebesar 6.410,23 ppm dan analisis metana terendah berada pada hari ke- 33 sebesar 5.021,87 ppm.

- c. Sebaiknya waktu start up untuk penguraian limbah cair tempe secara anaerobik dilakukan 13-14 hari, karena apabila terlalu cepat, bakteri metanogen yang masih dalam tahap perkembangan akan mengalami wash out dan apabila terlalu lama bakteri akan kekurangan bahan organik sebagai sumber makanan yang menyebabkan bakteri kelaparan dan memasuki fase kematian, sehingga tercipta kondisi yang tidak maksimal bagi bakteri dan sistem penguraian.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, C., Haryanto, A., Zulkarnain, I., & Hasanudin, U. (2017). Production of Biogas from A Mixture of Cowdung and Elephant Grass (*Pennisetum purpureum*). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 6(1), 23-30.
- Amelia, R. (2010). *Produksi biogas dari sampah buah melon (Cucumis melo L.) dan apel (Malus sylvestris mill) di Pasar Buah Gemah Ripah Yogyakarta* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Anggraini, D., Pertiwi, M. B., & Bahrin, D. (2012). Pengaruh Jenis Sampah, Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal Terhadap Komposisi Biogas dari Sampah Organik. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(1).
- Bahrin, D., Anggraini, D., & Pertiwi, M. B. (2011). Pengaruh jenis sampah, komposisi masukan dan waktu tinggal terhadap komposisi biogas dari sampah organik pasar di Kota Palembang.
- Bohn, I., Björnsson, L., & Mattiasson, B. (2007). The energy balance in farm scale anaerobic digestion of crop residues at 11–37 °C. *Process biochemistry*, 42(1), 57-64.
- Braber, K. (1995). Anaerobic digestion of municipal solid waste: a modern waste disposal option on the verge of breakthrough. *Biomass and bioenergy*, 9(1-5), 365-376.
- Djarwati, D., Sartamtomo, S., & Sukani, S. Pemanfaatan Energi Hasil Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 3(2), 66-70.
- Forster-Carneiro, T., Pérez, M., & Romero, L. I. (2008). Anaerobic digestion of municipal solid wastes: Dry thermophilic performance. *Bioresour technology*, 99(17), 8180-8184.
- Harahap, V. Y. (2012). Hubungan Pola Konsumsi Makanan Dengan Status Gizi Pada Siswa SMA Negeri 2 Rintisan Sekolah Bertaraf Internasional (RSBI) Banda Aceh. *Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala*, 17.
- Herawati, D. A., & Mahayana, A. Evaluasi Pengaruh Konsentrasi Umpan pada Produksi Biogas dari Limbah Cair Industri Alkohol secara Fed Batch. *Jurnal Rekayasa Proses*, 10(1), 10-15.

- Hikma, N., Alwi, M., & Umrah, U. (2014). Potensi Limbah Cair Tempe secara Mikrobiologis Sebagai Alternatif Penghasil Biogas. *Biocelebes*, 8(1).
- Ivontianti, W. D., Budhijanto, W., & Syamsiah, S. (2016). Evaluasi Waktu Start Up pada Proses Peruraian Stillage secara Anaerobik Menggunakan Reaktor Fixed Bed dengan Zeolit sebagai Media Imobilisasi. In *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan* (p. 1).
- Luthfianto, D. (2011). Pengaruh macam limbah organik dan pengenceran terhadap produksi biogas dari bahan biomassa limbah peternakan ayam.
- Mahajoeno, E. (2008). Pengembangan energi terbarukan dari limbah cair pabrik minyak kelapa sawit.
- Mara, M., & Alit, I. B. (2011). Analisa kualitas dan kuantitas biogas dari kotoran ternak. *Dinamika Teknik Mesin*, 1(2).
- Mardalena, M. (2016). Fase Pertumbuhan Isolat Bakteri Asam Laktat (BAL) Tempoyak Asal Jambi yang Disimpan Pada Suhu Kamar. *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*, 11(1), 58-66.
- Maryani, S. (2016). *Potensi campuran sampah sayuran dan kotoran sapi sebagai penghasil biogas* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Mellyanawaty, M., Purnomo, C. W., & Budhijanto, W. (2017). Pengaruh Penambahan Zeolit Alam Termodifikasi sebagai Media Imobilisasi Bakteri terhadap Dekompisisi Material Organik secara Anaerob. *Jurnal Rekayasa Proses*, 11(1), 36-42.
- Munawaroh, U., SUTISNA, M., & PHARMAWATI, K. (2013). Penyisihan parameter pencemar lingkungan pada limbah cair industri tahu menggunakan efektif mikroorganisme 4 (EM4) serta pemanfaatannya. *Jurnal Reka Lingkungan*, 1(2), 93-104.
- Ni'mah, L. (2014). Biogas from solid waste of tofu production and cow manure mixture: composition effect. *Chemica*, 1(1), 1-9.
- Noresta, F., Nadiaty, J. Y., & Faizal, M. (2013). Pengaruh Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Ayam. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(1).
- SafitriII, N., SunartiI, T. C., & Meryandini, A. (2016). Formula Media Pertumbuhan Bakteri Asam Laktat *Pediococcus pentosaceus* Menggunakan Substrat Whey Tahu Formulation of Whey Tofu-based Media for the Cultivation of Lactic Acid Bacteria *Pediococcus pentosaceus*. *Jurnal Sumberdaya Hayati Agustus*, 2(2), 31-38.
- Sjafruddin, R. (2011). Produksi Biogas dari Substrat Campuran Sampah Buah Menggunakan Starter Kotoran Sapi. *Jurnal Teknologi Media Perspektif*, 11, 62-119.
- Sukmana, Rika Widya dan Muljatiningrum, Anny. 2011. Biogas dari Limbah Ternak. Bandung. Nuansa Cendekia.
- Supriatin, L. S. (2017). Penentuan Musim Tanam, Jenis Varietas, Dan Teknik Budidaya Tanaman Padi Terkait Mitigasi Emisi Metana (CH₄)(Determination of Early Planting Season, Type Varieties, and Cultivation Techniques of Rice as Mitigation to Methane Emission). *Journal of People and Environment*, 24(1), 1-10.
- Syaichurrozi, I. (2015). Co-Digestion of Vinasse Waste and Tofu Liquid Waste to Increase Biogas Production. *Eksergi*, 12(2), 23-28.

- Tricia, M. I., Widiastuti, I., & Lestari, S. (2017). Uji Potensi Biogas Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan Jeroan Ikan Patin (*Pangasius sp.*) dan Kotoran Kuda. *Jurnal Fishtech*, 6(1), 56-68.
- Wahyuni, S. (2011). Biogas energi terbarukan ramah lingkungan dan berkelanjutan. *Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional (KIPNAS)*.
- Wahyuni, S., & Saleh, A. (2009). Analisis kelayakan pengembangan biogas sebagai energi alternatif berbasis individu dan kelompok peternak. *MANAJEMEN IKM: Jurnal Manajemen Pengembangan Industri Kecil Menengah*, 4(2), 217-224.
- Walker, M., Zhang, Y., Heaven, S., & Banks, C. (2009). Potential errors in the quantitative evaluation of biogas production in anaerobic digestion processes. *Bioresourcetechnology*, 100(24), 6339-6346.
- Widarti, B. N., Syamsiah, S., & Mulyono, P. (2012). Degradasi substrat volatile solid pada produksi biogas dari limbah pembuatan tahu dan kotoran sapi. *Jurnal Rekayasa Proses*, 6(1), 14-19.
- Wijayanti, H. (1993). *Pengaruh pH, Alkalinitas Dan Nutrient Terhadap Produksi Gas Methan Pada Pengolahan Limbah Industri Alkohol Secara Anaerobik Dengan Dan Tanpa Pengadukan* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Wistreich, G. A. (1997). Microbiology laboratory. *Fundamentals and applications*, 2, 139-256.
- Yanti, F. M., DwiHastuti, Z., Murti, S. S., Valentino, N., Juwita, A. R., & Sholihah, A. (2018). Pengembangan Teknologi Desulfurisasi Melalui Metode Chemical Absorber pada Produksi Biogas yang Berasal dari Limbah Palm Oil Mill Effluent (POME). *Prosiding Semnastek*.