

Kartika Dian Kurniasari¹, M. Ramdhan Kirom², Asep Suhendi³
Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹krtkdian@students.telkomuniversity.ac.id, ²ramdlankirom@telkomuniversity.ac.id,
³asepsuhendi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Potensi energi alternatif yang semakin dikembangkan salah satunya berasal dari hidrogen. Proses pencernaan anaerobik merupakan proses yang menggunakan bahan-bahan organik dan pada kondisi tanpa oksigen dengan melibatkan mikroorganisme. Dalam skala kecil, reaktor semi kontinyu yang dikembangkan dengan tujuan untuk meningkatkan produksi gas. Dalam penelitian ini, terbagi menjadi 3 bagian. 1) percobaan untuk mengetahui level optimal untuk reaktor semi kontinyu, 2) untuk mengetahui volume dan waktu pengisian optimal pada reaktor semi kontinyu, dan 3) untuk menguji kestabilan produksi gas selama 20 hari masa produksi. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu menunjukkan bahwa level optimal yaitu sebesar 65% dari total volume reaktor. Dengan batasan hanya menggunakan 3 variasi waktu dan volume pengisian, diperoleh waktu dan volume pengisian optimal yaitu dengan dilihat dari volume gas paling banyak dibanding yang lainnya yaitu per 2 hari dan volume pengisian 9,5 liter. Substrat dimasukkan pertama kali sebanyak level optimal yaitu 12,35 liter kemudian secara rutin akan diisi dengan volume 9,5 liter per 2 hari. Hasil pengujian stabilitas selama 20 hari diperoleh rata-rata volume gas sebanyak 5,9015 liter.

Kata kunci: hidrogen, semi kontinyu, volume pengisian, HRT.

Abstract

The potential of renewable energy from biohydrogen is easy to convert and eco-friendly because it has water vapor as the burning of. Anaerobic digestion is biochemical process in which organic waste is biodegradable in oxygen free environment through. Small-scale production, semi continuous anaerobic digesters have been developed to improve volume of gas production. From basic parameters that influences gas production, one of the important parameter is HRT (Hydraulic Retention Time). It means the time of substrate can live and become nutrients for microorganisms. In order to prevent the lack of nutrition for the microorganism, should be feeding fresh substrate onto the digester. In this experiment was divided into 3 sections. The sections were: 1) an experiment to investigate optimum levels for semi-continuous digester, 2) an investigation in time frequency variation for feeding, and 3) to test the production of gas production for 20 days. Results of these studies showed that during the semi-continuous mesophilic anaerobic digestion is 65% levels of substrate given the best result of volume gas production. By the limit of 3 variations frequency and volume feeding, given the best frequency and volume feeding from the best gas production just than other. That time frequency feeding and volume feeding was experiment and the best results was 2 days and 9.5 liters volume of feeding. The initial substrate is 65% level (12,35 liter) was consumed after two days and subsequently feeding were begun. As an experiments of stability gas production, it was experiments at the longer feeding interval 20 days that achieved gas volume production 5.9015 liters.

Keywords: biohydrogen, volume feeding, semi-continuous, HRT.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Sebagai salah satu upaya dalam mengembangkan potensi energi alternatif yaitu salah satunya berasal dari hidrogen. Hal ini menjadi salah satu pilihan yang menarik untuk dikembangkan karena hidrogen merupakan sumber energi yang mudah untuk dikonversi dan ramah lingkungan karena hasil emisinya berupa uap air.

Terdapat banyak cara untuk memproduksi hidrogen salah satunya dengan proses biohidrogen atau proses produksi hidrogen secara biologi dengan melibatkan mikroorganisme. Dalam proses produksinya terdapat berbagai hal yang memengaruhi produksi hidrogen, yaitu temperatur, pH, tekanan, *Hydraulic Retention Time*, dan jenis substrat yang digunakan. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang membahas mengenai pengaruh pH terhadap produksi biohidrogen pada reaktor hidrogen sistem *batch*. [1]

Parameter penting terkait dengan reaktor hidrogen yaitu masa tinggal substrat di dalam reaktor sehingga dapat memproduksi hidrogen atau sering disebut *Hydraulic Retention Time* (HRT). Mikroorganisme tidak dapat berada di dalam reaktor terlalu lama karena akan mengalami degradasi. Namun masa tinggal yang singkat juga tidak efektif bagi produksi hidrogen. Waktu tinggal yang rendah memberikan laju substrat yang baik, tetapi nilai produksi gas rendah.

Jenis reaktor baru yang sedang dikembangkan yakni sistem semi kontinyu yang merupakan pengembangan dari reaktor sebelumnya yaitu perlu dilakukan penyesuaian agar menghasilkan produksi hidrogen yang optimum. Sistem reaktor ini secara umum prinsipnya adalah pengisian dan pengeluaran substrat yang dilakukan secara berkala dalam volume tertentu. Berdasarkan hal tersebut maka penyesuaian yang dilakukan terhadap reaktor ini yaitu dengan pengujian variasi waktu pengisian dan volume umpan substrat sehingga dapat diperoleh volume gas optimum dari penelitian ini. Tujuan dilakukannya penggantian substrat yaitu untuk membuang dan menggantikan substrat yang waktu tinggalnya (HRT) telah habis dan nutrisi dari substrat berkurang sehingga mikroorganisme banyak yang mati sehingga jumlah produksi hidrogen akan menurun. Oleh sebab itu maka substrat akan tetap diisikan meskipun produksi masih berjalan. Dengan menggunakan reaktor tipe *batch* maka hal ini tidak dapat dilakukan sehingga diperlukan pengembangan reaktor menjadi reaktor semi kontinyu agar substrat tetap dapat dimasukkan ke dalam reaktor untuk menunjang aktivitas mikroorganisme di dalamnya.

Untuk itu melalui penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan pengondisian substrat pada reaktor hidrogen pada volume tertentu pada reaktor anaerobik semi kontinyu secara tepat untuk memperoleh laju biohidrogen dengan hasil produksi hidrogen yang diharapkan agar hasilnya optimal dan stabil. Level substrat ini terkait dengan stabilitas produksi biohidrogen yang dipengaruhi oleh banyaknya volume substrat di dalam reaktor dan waktu pengisian yang dimasukkan ke dalam reaktor. Penelitian ini juga berfokus pada volume pengisian substrat pada waktu pengisian tersebut yang akan diuji cobakan sehingga akan diperoleh waktu umpan substrat dan volume umpan substrat secara optimum. Diharapkan agar penelitian ini dapat meningkatkan dan menghasilkan produksi gas yang stabil.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan menjadi acuan pada perancangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapakah level optimum yang digunakan pada reaktor hidrogen anaerobik sistem semi kontinyu dengan level substrat tertentu.
2. Berapakah volume dan waktu pengisian optimum pada reaktor hidrogen anaerobik semi kontinyu sehingga menghasilkan hidrogen secara optimal.
3. Bagaimana pengaruh waktu dan pengisian terhadap stabilitas produksi hidrogen pada reaktor semi kontinyu penghasil hidrogen.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari perancangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

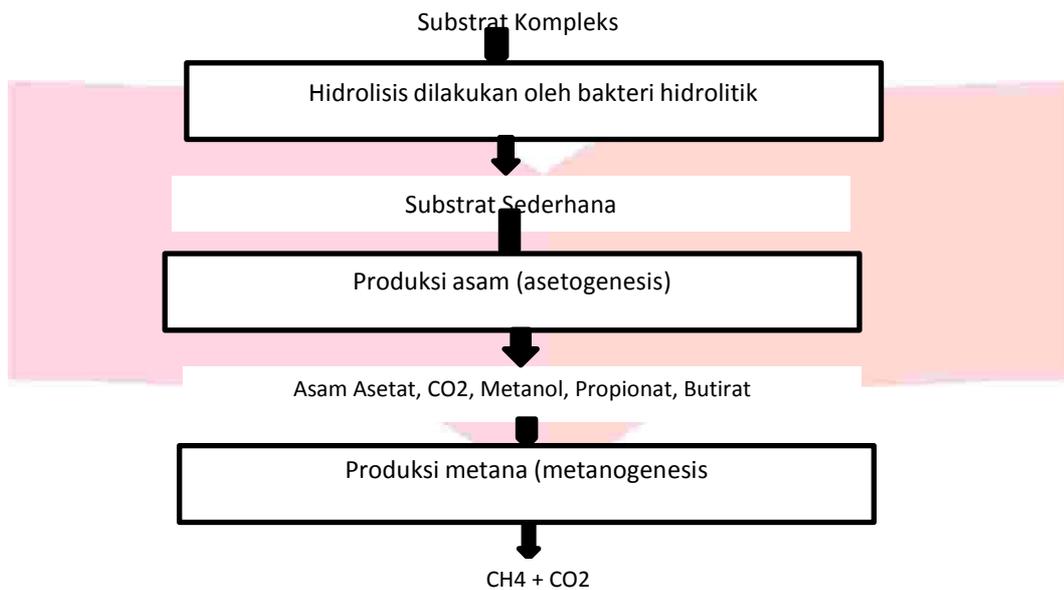
1. Mengetahui level optimum yang digunakan pada reaktor hidrogen anaerobik sistem semi kontinyu dengan level substrat tertentu.
2. Mengetahui volume dan waktu pengisian optimum pada reaktor hidrogen anaerobik semi kontinyu sehingga menghasilkan hidrogen secara optimal.
3. Menganalisis pengaruh waktu dan pengisian terhadap stabilitas produksi hidrogen pada reaktor semi kontinyu penghasil hidrogen.

2. Dasar Teori

2.1 Biohidrogen

Proses produksi hidrogen secara biologis menggunakan mikroorganisme disebut dengan biohidrogen. Proses produksinya sendiri terbagi menjadi lima cara yaitu biofotolisis langsung dan tak langsung, fotofermentasi, fermentasi gelap, dan sistem reaktor *hybrid* yang merupakan kombinasi dari fermentasi gelap dan terang. [2] Biohidrogen yang dilakukan secara fermentasi melibatkan enzim hidrogenase atau nitrogenase. Biohidrogen memiliki berbagai keuntungan, yaitu

menggunakan biaya yang rendah karena dapat diproduksi pada suhu dan tekanan normal. Berikut merupakan tahap pencernaan anaerobik pada proses biohidrogen.



Gambar 2.1. Tahapan dasar pencernaan anaerobik

Parameter yang memengaruhi produksi hidrogen yaitu temperatur, pH (derajat keasaman), tekanan, dan *Hydraulic Retention Time* (HRT). Terdapat empat rentang temperatur yang digunakan dalam proses yaitu *psychrophilic* (5-25 °C), *mesophilic* (25-40 °C), *thermophilic* (40-65 °C), dan *hyperthermophilic* (>80 °C). [3] pH (derajat keasaman) berpengaruh karena bakteri hidrogen berkembang pada pH tertentu yaitu 6,5-8 pada suhu mesofilik. [4] Sedangkan pengaruh dari tekanan parsial memungkinkan bahwa tekanan yang tinggi tidak cukup menguntungkan bakteri untuk memproduksi hidrogen. Salah satu parameter yang penting untuk diteliti yaitu HRT (waktu tinggal substrat). Hal ini berkaitan dengan interval waktu rata-rata substrat dapat hidup di dalam reaktor.

2.2. Reaktor Semi Kontinyu yang Dikembangkan

Reaktor hidrogen merupakan suatu tempat yang digunakan untuk mencerna dan mengolah substrat atau bahan baku untuk menghasilkan hidrogen. Berdasarkan segi aliran bahan baku, reaktor dibagi menjadi tiga jenis, yaitu tipe *batch*, semi kontinyu atau *semi-batch*, dan *continuous* (mengalir) [4].

Reaktor tipe *batch* ini bahan baku ditempatkan secara langsung di dalam reaktor dari awal hingga akhir proses. Reaktor tipe ini digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi gas dari limbah organik. Pada skala penelitian, reaktor tipe ini menjadi pilihan utama karena murah dan mudah penoperasiannya. Reaktor jenis selanjutnya yaitu tipe *continuous* yang memasukkan substrat secara kontinyu sementara substrat sisa dan buangan dikeluarkan secara kontinyu juga. Reaktor tipe ini sering digunakan dalam industri karena pengoperasiannya dilakukan secara otomatis dan kontinyu. Sedangkan reaktor tipe ketiga merupakan reaktor tipe gabungan antara *batch* dan *continuous* yaitu pemberian substrat ke dalam reaktor dilakukan secara perlahan-lahan dan dalam waktu tertentu.

Perbedaan reaktor jenis *batch* dan semi kontinyu yaitu pada reaktor jenis *batch* pemasukan substrat atau bahan baku dilakukan di awal pengoperasian reaktor dan tidak dapat dilakukan penambahan substrat selama proses seperti yang dapat dilakukan pada jenis reaktor semi kontinyu atau *continuous*. Namun kedua tipe reaktor ini sama-sama digunakan untuk produksi skala kecil atau skala laboratorium. Apabila di dalam proses kontinyu dihasilkan keluaran secara terus-menerus, maka pada sistem semi kontinyu diperoleh keluaran tunggal pada akhir proses dan ditangani seperti pada proses *batch*. Siklus sistem semi kontinyu secara umum yaitu pengisian, *batch*, dan pengisian. Pengisian substrat baru ke dalam reaktor dilakukan setelah substrat dikeluarkan secara tiba-tiba agar tidak ada udara yang masuk ke dalam reaktor selama proses pengisian tersebut. [5]

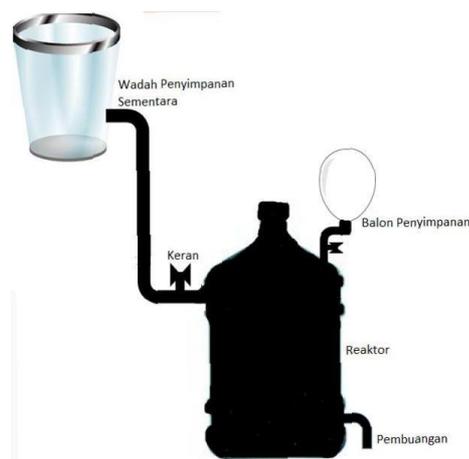
Sistem reaktor ini merupakan sistem reaktor anaerobik mesofilik yang menggunakan laju aliran

semi kontinyu. Sistem reaktor semi kontinyu ini merupakan sistem reaktor yang beroperasi secara kontinyu dan pemberian umpan ke dalam reaktor dilakukan secara otomatis dan periodik. Penambahan substrat ke dalam reaktor dilakukan secara perlahan-lahan dan terus-menerus hingga mencapai volume tertentu. Produk diambil pada akhir proses. Reaktor anaerobik yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu bekerja pada suhu mesofilik yaitu sebesar 25 – 40 °C[6].

Volume pengisian substrat yang dilakukan ke dalam reaktor dihitung berdasar rumus HRT. Waktu pengisian dari volume pengisian substrat tersebut kemudian disesuaikan berdasarkan masa tinggal substrat di dalam reaktor sehingga akan diperoleh variasi waktu pengisian yang kemudian harus diujikan untuk mendapatkan waktu dan volume pengisian yang paling optimal pada reaktor semi kontinyu.

Keuntungan menggunakan sistem semi kontinyu ialah volume substrat dalam reaktor dapat dipertahankan sehingga dapat mencegah fenomena represi katabolit atau inhibisi susbtrat. Represi katabolit yaitu suatu keadaan dimana glukosa sebagai produk awal metabolisme menekan sintesis berbagai enzim. Sedangkan inhibisi substrat yaitu penghambatan oleh molekul dengan substrat untuk mendapatkan sisi aktif enzim sehingga tidak dapat berikatan.

2.3. Rancangan Sistem



Gambar 2.2. Pearancangan Sistem yang Akan Dikerjakan

2.4. Langkah Penelitian

Langkah penelitian yang akan dikerjakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

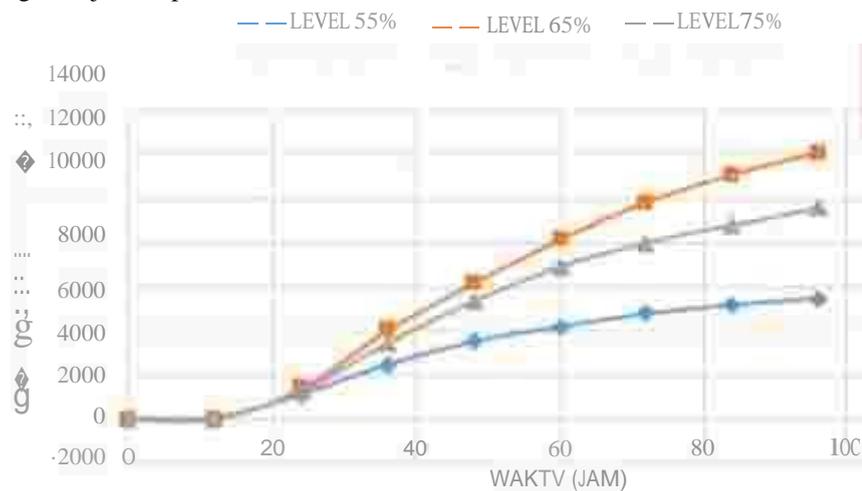
1. Pengujian terhadap reaktor yang telah dibuat yang bertujuan untuk melihat apakah terdapat kebocoran pada reaktor atau tidak.
2. Pembuatan substrat penelitian yang berasal dari limbah nasi yang telah dibasikan selama 2 hari kemudian akan dicacah bersama dengan air menggunakan blender dengan perbandingan 1:2. Substrat kemudian dipanaskan selama 10 menit menggunakan kompor gas.
3. Setelah dipanaskan kemudian dilakukan pengukuran pH substrat.
4. Penelitian awal dilakukan untuk mengamati waktu tinggal substrat pada reaktor semi kontinyu pada kondisi mesofilik (suhu ruang).
5. Setelah diperoleh waktu tinggal substrat kemudian akan dilakukan pengujian variasi level substrat di dalam reaktor. Variasi yang akan digunakan yaitu 3 variasi; 55%, 65%, dan 75%.
6. Setelah diperoleh level substrat optimal, kemudian dilakukan pengujian terhadap waktu pengisian substrat ke dalam reaktor. Variasi yang dilakukan juga sebanyak 3 variasi dengan waktu pengukuran selama 4 hari.
7. Penelitian selanjutnya yaitu untuk mengamati stabilitas produksi gas yang dihasilkan selama waktu tertentu.

3. Pembahasan

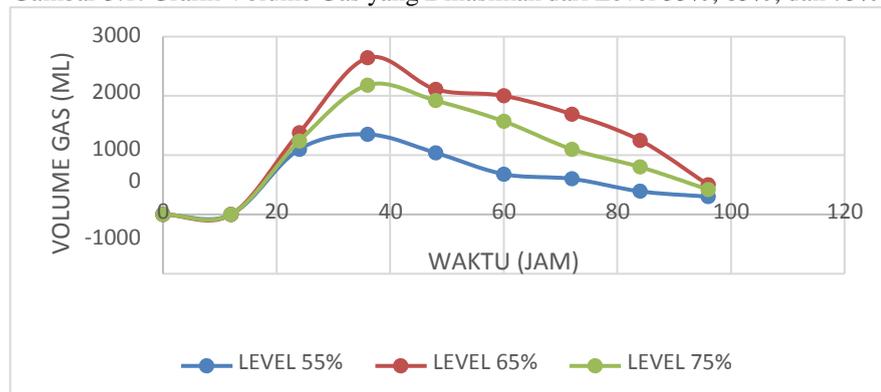
3.1. Hasil Pengujian Variasi Level Substrat

Pengujian substrat dengan level berbeda ini dilakukan dengan tiga level, yaitu 55%, 65%, dan

75%. Pada penelitian lain disebutkan bahwa level substrat optimum yang digunakan pada sistem semi kontinyu yaitu sebesar $\frac{2}{3}$ atau 65% dari total volume reaktor. [7] Pengondisian substrat yaitu berada pada suhu ruang yang termasuk dalam suhu mesofilik. Pengujian level optimum dilakukan dengan melihat apakah gas masih berproduksi atau tidak yang ditunjukkan dengan balon sebagai tempat penampungan gas yang membesar atau tetap. Lamanya waktu substrat dari pertama kali dimasukkan hingga tidak lagi memproduksi disebut dengan HRT atau waktu tinggal substrat. Pada penelitian sebelumnya diperoleh bahwa waktu tinggal substrat untuk substrat dari nasi basi atau limbah yaitu 3-4 hari. [8] Setelah substrat selesai berproduksi kemudian diukur volumenya menggunakan gelas ukur. Berikut data hasil volume gas yang diperoleh dengan berbagai volume substrat yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3.1. Grafik Volume Gas yang Dihasilkan dari Level 55%, 65%, dan 75%.

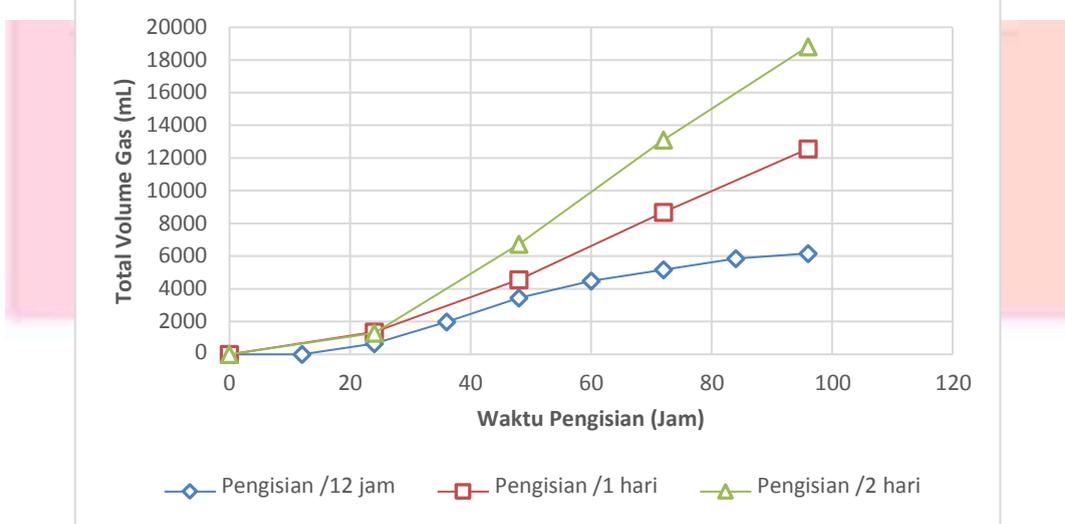


Gambar 3.2. Grafik Volume Gas Harian yang Dihasilkan dari Level 55%, 65%, dan 75%

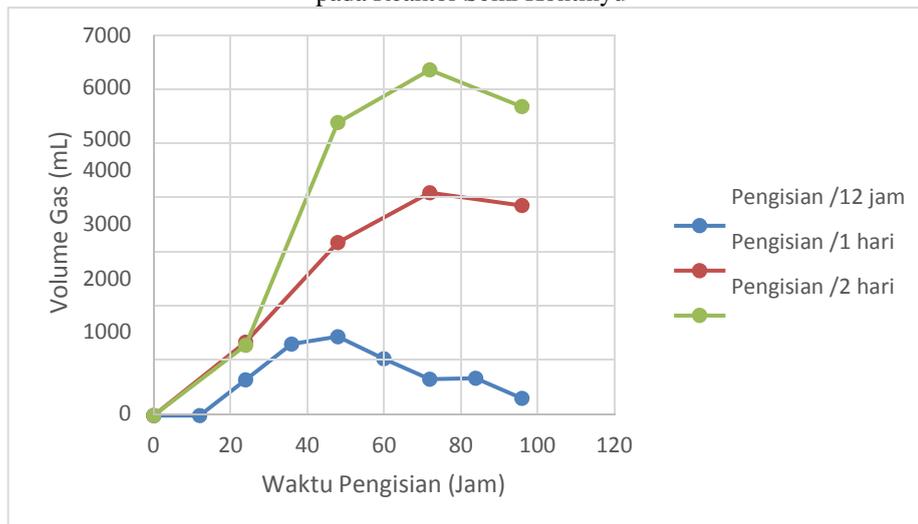
Dari data volume gas yang telah diperoleh pada Gambar 3.1. dan Gambar 3.2. dengan level 55%, 65%, dan 75% diperoleh bahwa HRT atau waktu tinggal substrat adalah selama 96 jam atau 4 hari. Hal itu terlihat bahwa setelah dua hari tidak terdapat kenaikan volume gas yang terukur. Hal ini dapat terjadi karena pada fase pencernaan anaerob dari limbah organik padat seperti limbah nasi terjadi pada hari 1-2 sebelum fase bakteri metanogen atau bakteri penghasil metana aktif yaitu setelah hari ketiga.

Level optimal yang diperoleh dari penelitian ini yaitu 65% dari total volume reaktor (19 liter) yaitu sebesar 12,35 liter. Hal ini disebabkan karena ruang fermentasi atau reaktor yang dibuat kedap udara memerlukan sisa ruang sekitar $\frac{1}{3}$ dari total volume reaktor yang digunakan. Dengan kata lain $\frac{2}{3}$ dari volume reaktor digunakan sebagai volume kerja. [7]

3.2. Hasil Pengujian Variasi Waktu dan Volume Pengisian pada Reaktor Semi Kontinyu



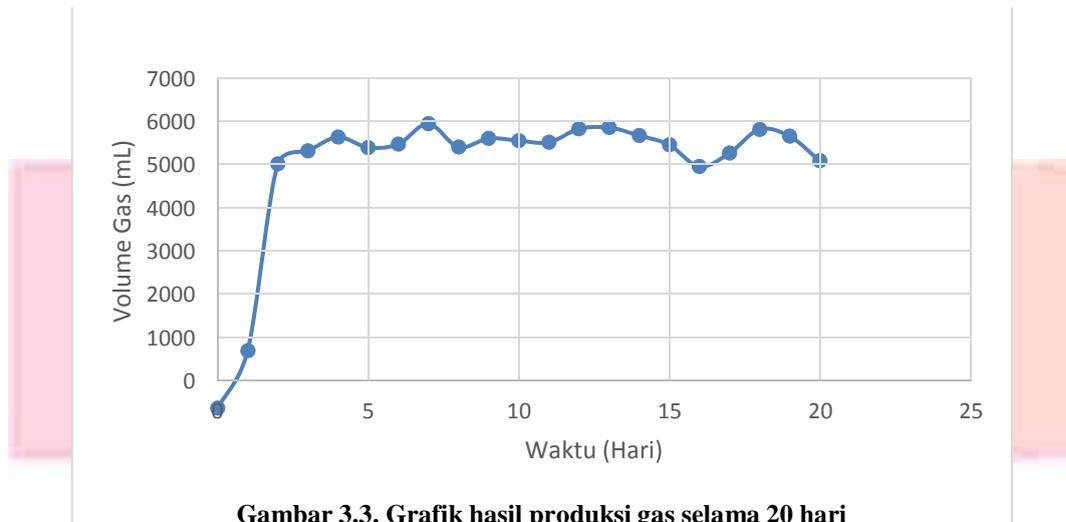
Gambar 3.3. Grafik Akumulasi Volume Gas yang Dihasilkan dengan Variasi Waktu Pengisian pada Reaktor Semi Kontinyu



Gambar 3.4. Grafik Volume Gas Harian dengan 3 Variasi Waktu dan Volume Pengisian; per 12 jam, 1 hari, dan 2 hari

Dari Gambar 3.3. dan Gambar 3.4. diperoleh bahwa dengan waktu pengisian per 2 hari dengan volume isian sebesar 9,5 akan diperoleh volume gas tertinggi dibandingkan dengan variasi waktu yang lain. Hal ini disebabkan oleh pengisian substrat baru ke dalam reaktor dengan interval lebih panjang akan memungkinkan proses fermentasi oleh bakteri secara lebih optimal dengan menahan perubahan proses yang terjadi secara tiba-tiba pada lingkungan tempat bakteri hidup.[9] Namun waktu pengisian yang dengan interval yang terlalu lama juga kurang bagus karena nutrisi dari mikroorganisme yaitu substrat kemungkinan sebagian besar telah dikonsumsi sehingga diperlukan waktu pengisian yang optimal.

3.3. Hasil Pengujian Stabilitas Produksi Biohidrogen dengan Level dan Waktu Pengisian Optimum



Gambar 3.3. Grafik hasil produksi gas selama 20 hari

Pada hari ke 13 produksi biohidrogen mengalami penurunan dan kembali meningkat setelah hari ke 15. Hal ini memperlihatkan bahwa aktivitas mikroorganisme tidak optimal dalam merombak substrat. Hal ini mungkin disebabkan karena kurang stabilnya temperatur yang digunakan selama penelitian karena hanya bergantung pada suhu ruang sehingga aktivitas mikroorganisme di dalam reaktor pun juga tidak stabil apabila terdapat penurunan suhu ruang atau kenaikan suhu ruang. Apabila temperatur mengalami penurunan, maka aktivitas mikroorganisme juga akan mengalami penurunan. Akibatnya produksi gas biohidrogen juga mengalami penurunan. Puncak produksi hidrogen pada penelitian ini terjadi pada hari ke 7 yaitu dengan hasil 6590 ml atau 6,59 liter. Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa produksi gas cukup tinggi dan stabil meskipun tanpa sistem pengadukan dan sempat mengalami penurunan produksi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal berikut.

1. Level substrat optimum yang digunakan pada sistem reaktor semi kontinyu penghasil biohidrogen yaitu 65% dari total volume reaktor atau sebesar 12,35 liter.
2. Volume pengisian dan waktu pengisian optimal berdasarkan penelitian yang telah dilakukan jika dilihat dari volume gas yang dihasilkan dengan 3 variasi level pengisian yaitu sebesar 9,5 liter per 2 hari pengisian.
3. Waktu pengisian dan volume pengisian berpengaruh terhadap stabilitas produksi hidrogen pada reaktor semi kontinyu dengan rata-rata volume gas yang dihasilkan setiap 2 hari selama 20 hari pengujian yaitu 5,9015 liter.

5.Saran

1. Perlu dilakukan penambahan inoculum bakteri anaerob sehingga diperoleh hasil yang lebih optimal.
2. Perlu dibuat reaktor dengan pengondisian suhu agar berada pada rentang 30-35 °C sehingga dapat meningkatkan produksi gas.
3. Perlu dilakukan uji gas kromatografi untuk mengetahui kadar hidrogen yang dihasilkan.
4. Perlu dibuat reaktor semi kontinyu yang disertai dengan sistem pengadukan sehingga dapat mengoptimalkan produksi gas hidrogen dan pembuatan wadah penyimpanan gas sehingga volume gas hasil produksi dapat terjaga.

Daftar Pustaka

- [1] E. Heinze, "Introduction to Ideal Reactors," 2009.
- [2] Dr. Sanju Nanda, M. Pharm, Ph. D., "*Reactors and Fundamentals of Reactors Design for Chemical Reaction*," 2008.
- [3] R. B. S. Manish, "*Comparison of Biohydrogen Production Processes*," 2007.
- [4] N. E.-S. Nasr, "*Investigation of Bio-hydrogen and Bio-methane Production from Thin Stillage*," 2012.
- [5] V. Müller, "*Bacterial fermentation*," 2001.
- [6] F. R. Silmi, "Analisis Pengaruh Pengontrolan Tekanan Terhadap Produksi Gas Hidrogen Pada Reaktor Temperature Phased Anaerobic Digester (TPAD) Fase Asidogenesis," 2016.
- [7] Idania Valdez-Vazquez, Elvira Rios-Leal, Fernando Esparza-Garcia, Franco Cecchi, Hector M. Poggi-Varaldo, "*Semi-continuous Solid Substrate Anaerobic Reactors for H₂ Production from Organic Waste: Mesophilic versus Thermophilic Regime*," 2004.
- [8] N. H. Wicaksono, "PENGARUH LAJU PEMBEBANAN TERHADAP PRODUKTIVITAS BIOGAS BERBAHAN BAKU KOTORAN SAPI PADA DIGESTER SEMI KONTINYU," 2016.
- [9] N. D. Manser, "Effects of Solids Retention Time and Feeding Frequency on Performance and Pathogen Fate in Semi-continuous Mesophilic Anaerobic Digesters," 2015.