

OPTIMASI PRODUKSI GAS HIDROGEN BERDASARKAN PERBANDINGAN LIMBAH BAGGASE TEBU DAN TETESAN TEBU MENGGUNAKAN SINGLE STAGE REAKTOR ANAEROB

OPTIMAZION HYDROGEN GAS PRODUCTION BY COMPARISON COMPOSITION OF CANE BAGGAGE WASTE AND CANE LIQUID WASTE USING SINGLE STAGE ANAEROB REACTOR

Reza Ayu Febriana^[1], M. Ramdhan Kirom, M.Si^[2], Amaliyah Rohsari Indah Utami, S.T. M.Si^[3]
^[1,2,3]Program Studi S1 Teknik Fisika, Telkom University, Bandung

¹rezaayufebriana@gmail.com, ²mramdhanikirom@telkomuniversity.ac.id,
³amaliyahriu@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari substrat yang paling optimal dalam menghasilkan gas hidrogen dari limbah baggase tebu, tetes tebu dan pencampuran baggase tebu-tetes tebu. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah baggase tebu dan tetes tebu. Baggase tebu diolah terlebih dahulu melalui proses *pretreatment* secara kimiawi selama 16 jam dengan konsentrasi NaOH 4% (w/v) sehingga diperoleh selulosa dan hermiselulosa. Setelah itu selulosa dan hermiselulosa pada baggase tebu di hidrolisis selama 42 jam, menggunakan buffer sitrat tekanan 1 atm dan pH=3. Setelah itu akan difermentasi menggunakan bakteri *enterobacter aerogenesis* selama 96 jam dengan pH=7. Hasil penelitian menunjukan bahwa puncak produksi gas hidrogen terjadi pada jam ke-48. Selain itu, gas hidrogen yang dihasilkan paling optimal diperoleh dari tetesan tebu sebanyak 62,8837%, sedangkan pada baggase tebu 47,4056% dan pencampuran baggase tebu-tetes tebu 59,4877%.

Kata Kunci- *Baggase tebu dan tetesan tebu, Enterobacter aerogenesis, Fermentasi, Hidrogen.*

ABSTRACT

The purpose of this experiment is to study the most optimum substrate to produce hydrogen gas from baggage waste, liquid waste, and the mixing of both. Raw materials used in this experiment is cane baggage waste and cane liquid waste. Cane baggage waste was processed in pretreatment chemically within 16 hours with 4% of NaOH concentration (w/v) so that cellulose and hermicellulose were obtained. After that the cellulose and hermicellulose in baggage waste were being processed in hydrolysis within 42 dhours, using citrate buffer with 1 atm pressure and pH=3. After that it was being ferment using *enterobacter aerogenesis* bacteria within 96 hours with pH=7. The result of the experiment shows that the peak of hydrogen gas production happen in the 48th hour. Besides, the most optimum hydrogen gas produced obtained by the 62,8837% of liquid waste, while the baggage waste is in 47,4056% and the mixing of the liquid-baggage waste in 59,4877%.

Keyword- *cane baggage and cane liquid , Enterobacter Aerogenesis, Fermentation, Hydrogen*

1. Pendahuluan

Penggunaan bahan bakar fosil menimbulkan banyak kerugian dalam pencemaran lingkungan. Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan gas-gas yang berbahaya bagi lingkungan dan berperan dalam peningkatan *global warming*. Oleh karena itu diperlukan energi alternatif sebagai pengganti energi fosil nantinya. Salah satu sumber energi alternatif yang sangat berpotensi adalah hidrogen karena pembakaran hidrogen hanya menghasilkan uap air. Kalor pembakaran hidrogen sebesar 120,1 MJ/kg hampir 3 kali kalor pembakaran gasolin. Hidrogen dapat dihasilkan dari limbah-limbah pertanian (biomassa) yang banyak mengandung *lignocellulose* seperti baggase (limbah padat industri gula) dan tetes (limbah cair industri gula).

Setiap tahunnya Indonesia menghasilkan limbah baggase tebu sebanyak 47 juta ton. Potensi baggase di Indonesia menurut Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) tahun 2012, cukup besar dengan komposisi rata-rata hasil samping industri gula di Indonesia terdiri dari limbah cair 52,9%, blotong 11,6%, baggase 32,0%, dan abu 3,5% [1]. Pembuatan gas hidrogen secara komersial dilakukan dengan cara proses kimia fisika yaitu reaksi reformasi gas alam dengan steam reforming, dan elektrolisis air. Proses tersebut membutuhkan energi eksternal untuk menghasilkan gas hidrogen. Gas hidrogen bisa juga diproduksi secara ekonomis yaitu secara biologis dengan cara fermentasi biomassa baik dengan sinar (*photo fermentation*) maupun tanpa sinar (*dark fermentation*) [1].

Berdasarkan jenis proses tersebut, yang memiliki proses produksi biohidrogen yang paling optimal adalah fermentasi menggunakan mikroorganisme secara non-fotosintetik atau dark fermentation. Kelebihan yang dimiliki pada proses ini, misalnya dapat menghasilkan H_2 tanpa membutuhkan cahaya matahari, substrat yang digunakan pun bervariasi dan tidak membutuhkan biaya yang besar [2]. Mikroorganisme yang sering digunakan dalam proses *dark fermentation* adalah genus dari genus *clostridium* dan genus *Enterobacter*. Genus *clostridium* bersifat obligatif anaerob sedangkan *enterobacter* bersifat fakultatif anaerob [2].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi yang efektif dalam memproduksi gas hidrogen dari limbah baggase tebu dan tetesan tebu menggunakan 3 sampel yaitu limbah baggase tebu (100 gram), tetesan tebu (100 gram), dan pencampuran baggase : tetes (50 gram : 50 ml) dengan metode pretreatment, hidrolisis dan fermentasi dengan campuran bakteri *enterobacter aerogenes* pada saat proses fermentasi. Selain itu manfaat pada penelitian ini dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan tentang pengolahan limbah organik menjadi gas hidrogen melalui teknologi di gaster anaerob, dan juga memberikan saran kepada masyarakat sebagai bahan pertimbangan dalam pengelolaan limbah yang dihasilkan sehingga pencemaran limbah organik dapat dikurangi.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah baggase tebu sebanyak 150 gram, tetes tebu 150 ml, NaOH 4% (w/v), bakteri *enterobacter aerogenes*, buffer sitrat 0,1M, NaOH 1M, dan aqua dm.

2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor single stage anaerob, suntikan, ayakan 100-120 mesh, balon, karet, plastisin, lem, slotif pipa, oven, blender, tempat dan alat pengaduk.

2.3 Cara Kerja

➤ Tahap Pretreatment

Baggase Tebu

Baggase tebu sebanyak 100 gram (sample b) dan 50 gram (sample c) di potong-potong dan dijemur selama 12 jam. kemudian di blender dan diayak menggunakan ayakan dengan ukuran 100-120 mesh. Bubuk hasil baggase tebu ini kemudian di pretreatment secara kimiawi menggunakan basa NaOH 4% (w/v). Bubuk baggase tebu ini di campur hingga larut. Setelah itu baggase akan keringkan menggunakan oven pada suhu 80°C selama 16 jam.

Tetes Tebu

Tetes tebu sebanyak 100 gram dan 50 gram (percobaan a dan c) dimasukan ke dalam wadah untuk dipanaskan menggunakan kompor dengan panas api sedang dan diaduk selama 15 menit agar larutan menjadi

homogen.

Pembuatan Buffer Sitrat 0,1M

Larutan buffer sitrat ini diperoleh dengan cara mencampurkan 2 larutan stok yaitu

- Larutan stok A (21.01 gram Asam sitrat dilarutkan dalam 1L aquades)
- Larutan stok B (29.41 gram Natrium sitrat dilarutkan dalam 1L aquades)

Maka untuk membuat larutan buffer sitrat pH = 3, kita perlu untuk mencampurkan 46.5 mL Larutan stok A dicampur dengan 5.5 mL larutan stok B, kemudian ditambahkan larutan aquades hingga mencapai 100 mL.

➤ Hidrolisis

Seluruh hasil dari proses pretreatment baggase tebu (percobaan b dan c) dan tetesan tebu percobaan (a dan c) akan dimasukkan ke dalam reaktor untuk dihidrolisis menggunakan buffer nitrat 0,1 M dengan pH = 3. Proses hidrolisis ini dilakukan selama 42 jam.

Pembuatan NaOH 1M

Timbang NaOH hingga mencapai 4 gram, lalu encerkan dengan 100 ml aquades.

➤ Fermentasi

Proses fermentasi dilakukan setelah proses hidrolisis selama 42 jam dengan bantuan bakteri enterobacter aerogenesis. Bakteri ini diperoleh dari laboratorium perkembangan hewan dan sains Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, ITB. Sebelum bakteri ini dimasukkan ke dalam reaktor, pH didalam reaktor harus dijaga normal yaitu berkisar antara 6-7. Hal itu di sebabkan bakteri penghasil gas hidrogen akan bekerja optimum pada pH 6-7. Untuk menjaga pH agar menjadi netral, maka ditambahkan larutan NaOH 1M, beberapa tetes hingga larutan berpH netral. Setelah larutan berpH netral maka bakteri dapat dimasukkan ke dalam reaktor. Fermentasi ini dilakukan selama 96 jam atau 4 hari. Dan proses pengambilan data diambil pada jam ke-24, 48, 72 dan 96 jam. Gas yang telah dihasilkan akan ditampung dalam balon gas hidrogen, yang komposisinya akan di analisa menggunakan kromatografi gas.

2.4 Analisis Data

➤ Kromatografi Gas

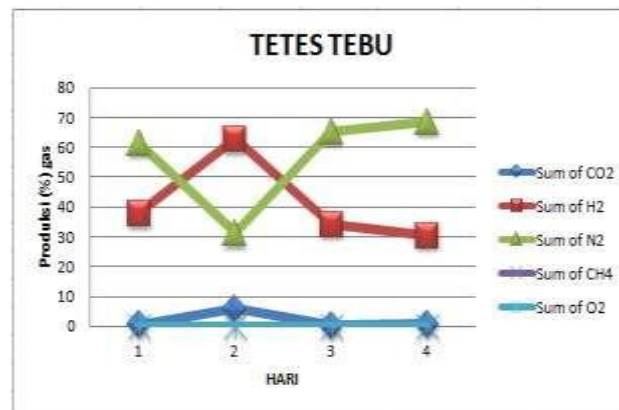
Analisis data dilakukan dengan menggunakan alat kromatografi gas. Sample sebanyak 100 ml tetes tebu, 100 gram baggase tebu dan pencampuran 50 gram baggase: 50 ml tetes tebu yang telah di dapatkan dari proses fermentasi menggunakan balon selama 24 jam, akan disuntik dengan menggunakan suntikan untuk diambil gasnya. Setelah itu ditutup dengan karet agar gas tidak dapat keluar dari suntikan, dibawa ke laboratorium kromatografi gas ITB untuk mengetahui komposisi gas yang telah dihasilkan. Pengambilan data pada jam ke-48, ke-72 dan ke-96 dilakukan hal yang sama.

➤ Ratio C/N

Bahan baku yaitu baggase dan tetes tebu dibawa ke laboratorium buangan padat dan B3 untuk diuji kandungan karbon dan nitrogennya. Pengujian ini berlangsung selama ± 2 minggu

3. Pembahasan

3.1 Analisa Pada Sampel A (100 ml Tetes Tebu)



Gambar 1. Grafik hasil gas yang dihasilkan pada tetesan tebu selama 96 jam (4 hari)

Dari data percobaan diatas terlihat bahwa produksi gas hidrogen (H_2) pada hari pertama masih rendah dibandingkan dengan gas nitrogen yang lebih tinggi. Hal itu dikarenakan proses tumbuh bakteri penghasil gas hidrogen ini dimulai pada jam ke-24 sampai jam ke-48 [4]. Apabila kurang dari 24 jam maka produksi gas hidrogen yang dihasilkan menjadi kurang maksimal. Sedangkan pada hari kedua, produksi kadar gas hidrogen diproduksi diatas 50% yaitu sebanyak 62,8837%. Hal itu dikarenakan konsentrasi gula pada larutan telah banyak dikonsumsi oleh bakteri enterobacter aerogenesis untuk melakukan metabolisme. Hasil dari metabolisme fermentasi bakteri adalah gas hidrogen [3]. Selain itu, ukuran partikel juga mempengaruhi. Dalam cairan ukuran partikel sangat kecil menyebabkan luas permukaannya menjadi lebih besar. Luas permukaan yang besar ini mengakibatkan difusi ion menjadi semakin banyak sehingga gas yang dihasilkan lebih besar. Pada data dihari ketiga dan keempat dapat terlihat penurunan kadar gas hidrogen yaitu sebesar 37,8581% dan 3,7665%. Hal itu dapat terjadi karena pertumbuhan bakteri penghasil gas hidrog

en (*E.aerogenesis*) akan dimulai pada jam ke-24 sampai jam ke-48 mengalami puncak peningkatan, dan setelah itu mengalami penurunan pada jam ke-72 [4].

3.2 Analisa Pada Sampel B (100 gram Baggase Tebu)



Gambar 2. Grafik hasil gas yang dihasilkan pada baggase tebu selama 96 jam (4 hari)

Dari data sample diatas, pada hari pertama proses fermentasi menghasilkan sedikit gas hidrogen dengan gas nitrogen yang mencapai 71,1619% dan karbondioksida yang sedikit dibawah 1%. Baggase sebagai substrat yang berbentuk ukuran padatan memerlukan waktu untuk memecah dari senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana, sehingga dapat menghasilkan gas hidrogen [4]. Sedangkan pada hari kedua dapat diketahui bahwa produksi kadar gas hidrogen lebih kecil dari kadar gas nitrogen jika dibandingkan dengan hasil dari larutan tetesan tebu yang hasil gas hidrogenya lebih maksimal. Hal ini terjadi karena faktor laju reaksi zat padat yaitu luas permukaan. Dimana semakin kecil ukuran zat padat maka akan semakin cepat bereaksi. Baggase tebu jika dibandingkan dengan tetesan tebu, partikelnya lebih kecil tetesan tebu. Hal itulah yang menyebabkan tetesan tebu hasilnya lebih maksimal dibanding baggase tebu [5]. Dan hari ketiga proses baggase tebu ini juga mengalami penurunan sama seperti pada proses tetesan tebu, dimana bakteri enterobacter aerogenesis mengalami puncak pertumbuhan untuk bermetabolisme menggunakan substrat untuk dirubah menjadi gas hidrogen maksimum jam ke-48 dan selanjutnya menurun. Sedangkan pada hari keempat, terjadi penurunan gas hidrogen, sebanyak 15,744%. Produksi CO_2 juga mengalami penurunan walaupun tidak terlalu jauh jika

dibandingkan dengan hari ketiga. Akibat penurunan gas hidrogen ini menyebabkan kenaikan dari gas nitrogen mencapai 17,1002%.

3.3 Analisa Pada Sampel C (50 gram Baggase : 50 ml Tetes)



Gambar 3. Grafik hasil gas yang dihasilkan pada baggase tebu dan tetes tebu selama 96 jam (4 hari)

Data pertama dari sampel ini menunjukkan bahwa pada proses fermentasi menghasilkan gas hidrogen sebesar 29,781% dengan nitrogen yang masih banyak dan karbondioksida yang sedikit. Substrat yaitu baggase tebu dalam proses pembentukan hidrogen memerlukan proses memecah dari senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana memerlukan waktu karena jumlah partikelnya yg besar. Pada hari kedua ini, terlihat kadar gas hidrogen meningkat dibandingkan dengan hari pertama. Hal ini terjadi karena bakteri telah banyak mengkonsumsi gula pada baggase maupun tetes sebagai substrat yang digunakan untuk menghasilkan produk berupa gas [4]. Selain itu hasil produksi gas hidrogen pada baggase dan tetes ini, lebih baik jika dibandingkan dengan baggase tebu, karena pada percobaan ini digunakan juga tetes. Dimana partikel tetes, lebih kecil sehingga mempercepat reaksi. Dari data sample dihari ketiga ini terlihat bahwa terjadi penurunan gas hidrogen, yang cukup jauh yaitu sebesar 25,852%. Sama seperti halnya pada tetesan dan baggase tebu, bakteri mengalami puncak pertumbuhan pada jam ke-48 untuk bermetabolisme, setelah itu mengalami penurunan. Akibat menurunnya gas hidrogen ini menyebabkan meningkatnya kadar gas nitrogen. Pada hari keempat menunjukkan telah menghasilkan sedikit gas CH₄ (0,0089%) yang menunjukkan adanya jalur fermentasi ke proses metanogenesis pada hari keempat.[6].

3.4 Analisis Ratio C/N

Berdasarkan hasil uji laboratorium pada Laboratorium Buangan Padat dan B3, Institut Teknologi Bandung, maka didapatkan hasil ratio c/n adalah sebagai berikut :

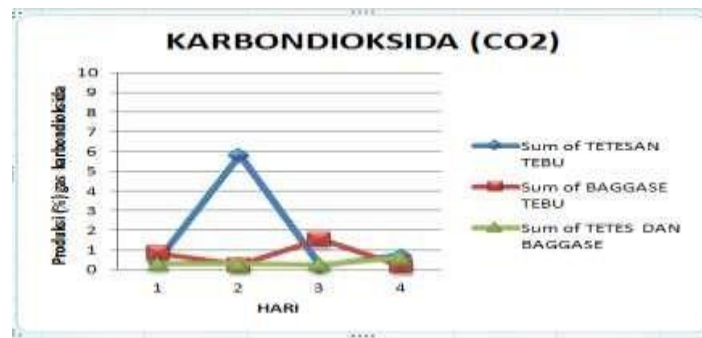
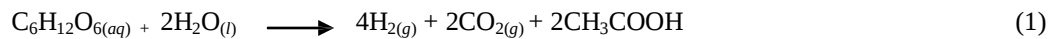
Tabel 1. Hasil kandungan karbon dan nitrogen pada baggase dan tetes tebu

No.	Parameter	Hasil Analisa	
		Baggase Tebu	Tetes Tebu
1.	C-organik	64,45%	172000 mg/L
2.	Nitrogen	0,10%	175,10 mg/L

Pada data tabel diatas, maka diketahui kandugan C organik pada limbah baggase tebu 64,45% dan tetes tebu 172000 mg/L (17,2%). Sedangkan kandungan nitrogen baggase 0,10% dan tetes 175,10 mg/L (0,01%). Kandungan nitrogen pada baggase dan tetes sangat kecil hampir mendekati nol. Karbon dibutuhkan untuk mensuplai energi pada mikroorganisme dan nitrogen dibutuhkan untuk membentuk struktur sel mikroorganisme. [9]

3.5 Analisa Data Gas Karbondioksida (CO₂)

Dalam proses fermentasi, bakteri juga menghasilkan gas sebagai akibat dari pembongkahan substrat yang berlangsung oleh aktivitas bakteri. Gas yang dihasilkan dapat berupa karbondioksida (CO₂), hidrogen (H₂), metan (CH₄), nitrogen (N₂) dan amoniak (NH₃) Karbondioksida itu timbul karena aktivitas bakteri, gas ini timbul sebagai hasil pernafasan aerob atau anaerob. Kebanyakan senyawa yang cepat terurai oleh bakteri serta menghasilkan CO₂ adalah golongan gula [4].

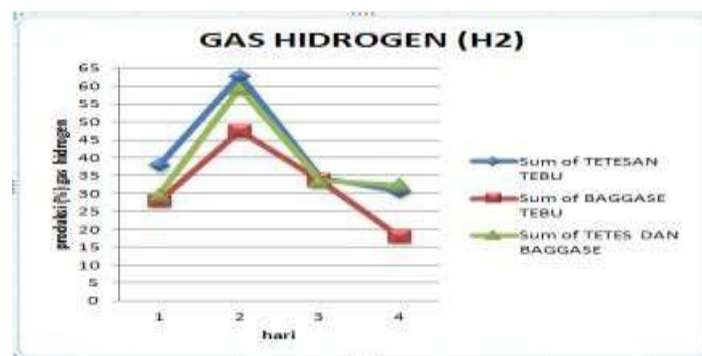


Gambar 4. Grafik produksi gas karbondioksida

Dari data sample diatas, diketahui bahwa produksi gas karbondioksida pada jam ke-24 kurang dari 1%. Dan terjadi peningkatan hampir 6% pada jam ke-48 untuk sample baggage tebu. Pada jam ke-72 mencapai 1,5% dan pada jam ke-96 mencapai 0,75%.

3.6 Analisa Gas Hidrogen (H₂)

Hidrogen dihasilkan pada proses fermentasi anaerob menggunakan bakteri *enterobacter aerogenes*. Dan seperti gambar yang ada dibawah ini menunjukan bahwa produksi gas hidrogen sudah dimulai pada jam ke-24, dan rata-rata mengalami puncak kenaikan optimal pada jam ke-48 setelah itu mengalami penurunan



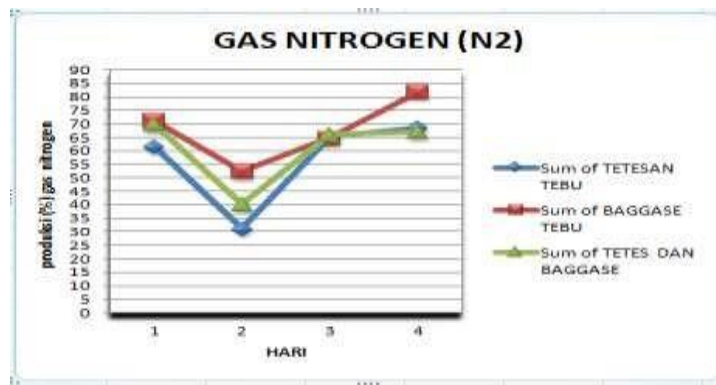
Gambar 5. Grafik produksi gas hidrogen

Penurunan gas hidrogen ini terjadi karena semakin banyak gula yang ada pada substrat telah banyak dikonsumsi oleh bakteri untuk melakukan metabolisme [4]. Hasil dari metabolisme Bakteri *Enterobacter aerogenes* ini adalah gas hidrogen [5]. Selain itu penurunan gas hidrogen juga dapat terjadi karena kurangnya pengoptimalan proses pengadukan, hal ini menyebabkan terdapat busa-busa gelembung dipermukaan larutan fermentasi. Busa ini adalah gas hasil proses fermentasi yang terjebak dalam larutan sehingga sulit untuk melepaskan diri dan kembali ke fasa gas. Hal ini dapat diatasi dengan intensitas pengadukan yang optimal.

Fermentasi pada gas hidrogen ini dilakukan dengan kondisi pH 6,9-7. Dimana pada kondisi tersebut bakteri *enterobacter aerogenes* ini dapat bekerja dengan optimal. Aktivitas bakteri *enterobacter aerogenes* ini dipengaruhi oleh derajat keasaman, maka pada proses fermentasi ini untuk mengontrol pH agar menjadi pH normal. Maka dilakukan penambahan NaOH 1M kedalam larutan fermentasi agar larutan menjadi berpH 7. Dari proses fermentasi dapat diketahui bahwa proses fermentasi menggunakan tetesan tebu sebanyak 100 gram menghasilkan kadar gas hidrogen yang paling maksimal yaitu sebesar 62,887%.

3.7 Analisis Gas Nitrogen (N₂)

Nitrogen adalah unsur kimia dalam table periodik yang memiliki lambang N dan nomor atom 7. Biasanya ditemukan sebagai gas tanpa warna, tanpa bau, tanpa rasa dan merupakan gas diatomik bukan logam yang stabil, sangat sulit bereaksi dengan unsur atau senyawa lainnya. Nitrogen mengisi 78,08 % atmosfer bumi dan terdapat dalam banyak jaringan hidup. Nitrogen membentuk banyak senyawa penting seperti asam amino, amoniak, asam nitrat dan sianida [7].



Gambar 6. Grafik produksi gas nitrogen

Pada proses penelitian ini terdapat gas nitrogen pada hasil kromatografi gas. Hal ini terjadi karena dalam udara terkandung jumlah nitrogen yang sangat besar. Selain itu pada saat pengambilan sample (penyuntikan) dari gas carrier (balon) menuju karet tempat suntikan, gas nitrogen bisa masuk ke dalam suntikan dan selain itu pada saat proses pembawaan gas sample dari tempat percobaan menuju ke tempat pengujian gas yang tidak ditempatkan di tempat kedap udara sehingga hal itu juga mempengaruhi gas nitrogen untuk masuk ke dalam suntikan.

4. Kesimpulan

Sampel yang menggunakan tetesan tebu sebanyak 100 gram, mencapai hasil gas hidrogen yang paling maksimal pada jam ke-48, yaitu sebanyak 62,8837%. Produksi gas hidrogen dimulai pada jam ke-24, sampai mengalami puncak pada jam ke-48 setelah itu mengalami penurunan, berdasarkan data percobaan A (100 ml tetes tebu), B (100 gram baggase) dan C (50 gram baggase : 50 ml tetes). Jadi tetesan tebu bisa digunakan sebagai sumber energi alternatif penghasil gas hidrogen dengan metode fermentasi anaerob menggunakan bakteri enterobacter aerogenesis.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Endri Sugianto, M.Sc. (2007). *Rancang bangun alat penghasil gas H_2 dari limbah organik*. Disertai Insiyur pada DIII Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret Surakarta : tidak diterbitkan.
- [2] Dewi Dwiana, Anwar Nadiem . (2010). *Pengaruh Konsentrasi Substrat Pada Proses Produksi Hidrogen Secara Fermentasi Anaerob Menggunakan Enterobacter Aerogenesis*. Jurnal dari Teknik Kimia ITS.
- [3] Hidayat Nur. (2012). *Pertumbuhan Bakteri Aerob dan Anaerob Penghasil Gas Hidrogen pada Medium Limbah Organik, Ditinjau dari Parameter pH dan Cahaya*. Jurnal dari Fakultas Biologi ITS.
- [4] Sucipto Imam. (2009). *Biogas Hasil Fermentasi Hidrolisat Bagas Menggunakan Konsurum Bakteri Termofilik Kotoran Sapi*. Program Studi Biokimia Institut Pertanian Bogor : tidak diterbitkan
- [5] Ardina Amalia, Nirwana, HS Irdoni. (2013). *Pengaruh Komposisi Katalis H-Zeolit dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Karakterisasi Isopropil Oleat*. Jurnal dari Teknik Kimia Universitas Riau.
- [6] Saragih R.Budiman. (2010). *Analisis Potensi Biogas Untuk Menghasilkan Energi Listrik Dan Termal Pada Gedung Komersil di Daerah Perkotaan*. Disertai Doctor pada Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- [7] Estie Setiya Rini. (2010). *Pengaruh Penambahan Nitrogen Dan Fosfor Terhadap Proses Biosintesis Alkohol dari Bekatul Beras*. Jurnal dari Fakultas Matematika UNY.
- [8] Ambarnigtyas Elita, Shovitri Maya. (2013). *Pengaruh Cahaya Terhadap Produksi Gas Hidrogen dari Isolat Bakteri Aerob dan Anaerob*. Jurnal dari Jurusan Biologi ITS.
- [9] Ismaya Andres, dkk. (2012). *Faktor Rasio C/N Awal dan Laju Aerasi Pada Proses CO-Compositing Baggase dan Blotong*. Jurnal Teknik Industri Pertanian IPB.